

**Univerzita Karlova v Praze**  
**Přírodovědecká fakulta**

Geografie  
Geografie a kartografie



**Lea Paličková**

Vlivy sluneční aktivity na vlastnosti cirkumpolárního víru severní polokoule

Solar variability effects on characteristics of the Northern Hemisphere  
Circumpolar Vortex

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Radan Huth, DrSc.

Praha, 2013

## **Zadání bakalářské práce**

### **Název práce**

Vlivy sluneční aktivity na vlastnosti cirkumpolárního víru severní polokoule

### **Cíle práce**

Seznámení s problematikou vlivu proměnlivosti sluneční aktivity na cirkulaci v troposféře a rešerše literatury na toto téma. Vlastní výpočty se budou zabývat otázkou, zda a nakolik jsou vlastnosti cirkumpolárního víru (plocha, míra kruhovosti, poloha středu) v troposféře na severní polokouli ovlivněny úrovní sluneční aktivity. Práce je příspěvkem k mezinárodnímu projektu COST ES1005 (Towards a more complete assessment of the impact of solar variability on the Earth's climate).

### **Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje**

Data o sluneční aktivitě jsou k dispozici na veřejně přístupných webových stránkách, např. Královské observatoře v Bruselu. Cirkumpolární vír je definován jako oblast v hladině 500 hPa uzavřená izohypsou 5460m; data jsou k dispozici v článku Rohli et al., 2005. Použité metody: lineární regrese a kompozitní analýza pro různé fáze slunečního cyklu. Analyzované období je dáno rozsahem dat v článku Rohli et al.

Datum zadání: 14. 12. 2012

Jméno studenta: Lea Paličková

Podpis studenta: .....

Jméno vedoucího práce: RNDr. Radan Huth, DrSc.

Podpis vedoucího práce: .....

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Žereticích dne 11. května 2013

.....

Lea Paličková

Ráda bych na tomto místě poděkovala RNDr. Radanu Huthovi, DrSc. za odborné vedení a cenné rady při sestavování této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat kolegyni Monice Pernerové za GIS konzultace a všem přátelům a rodině za psychickou podporu při psaní této práce.

# **Vlivy sluneční aktivity na vlastnosti cirkumpolárního víru severní polokoule**

## **Abstrakt**

Cílem této práce je seznámení s problematikou proměnlivosti sluneční aktivity na cirkulaci v troposféře. Je zde podrobněji popsán vliv sluneční aktivity na různé aspekty a prvky atmosférické cirkulace ve stratosféře a troposféře. Hlavním cílem práce je zjistit, zda a nakolik je cirkumpolární vír severní polokoule a jeho charakteristiky (plocha, míra kruhovitosti a poloha středu) ovlivněn úrovní sluneční aktivity. Ve výzkumné části práce je počítáno s hodnotami výše uvedených charakteristik cirkumpolárního víru severní polokoule pro vybrané měsíce v letech 1959-2001. Práce je příspěvkem k mezinárodnímu projektu COST ES1005 (Towards a more complete assessment of the impact of solar variability on the Earth's climate).

**Klíčová slova:** atmosférická cirkulace, troposféra, sluneční aktivita, cirkumpolární vír

# **Solar variability effects on characteristics of the Northern Hemisphere Circumpolar Vortex**

## **Abstract**

This thesis contains an introduction to the problematics of solar activity variations in relation to tropospheric air circulation. It also contains thorough description of the influence of the solar activity on variable aspects of atmospheric circulation in the stratosphere and troposphere. The main target of this thesis is to determine, whether and how much is the Northern Hemisphere Circumpolar Vortex and its characteristics (surface, roundness, location of the centre) influenced by the level of solar activity. In the research part of this thesis, these characteristic values of the northern hemisphere circumpolar vortex from selected months in the years 1959-2001 are used. The thesis contributes to the international project COST ES1005 (Towards a more complete assessment of the impact of solar variability on the Earth's climate).

**Keywords:** atmospheric circulation, troposphere, solar activity, Circumpolar vortex

## OBSAH

<b>1 Úvod .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Rešerše .....</b>	<b>4</b>
2.1 Obecný úvod do problematiky sluneční aktivity.....	4
2.2 Vliv sluneční aktivity na cirkulaci atmosféry.....	5
2.2.1 Sluneční aktivita a ovlivnění stratosféry a ozonové vrstvy Země.....	7
2.2.2 Sluneční aktivita vs. kvazi-dvouletá oscilace .....	8
2.2.3 Sluneční aktivita vs. ovlivnění troposféry .....	9
2.3 Cirkumpolární vír severní polokoule .....	15
2.3.1 CPV vs. signály ze stratosféry .....	16
2.3.2 CPV vs. módy nízkofrekvenční proměnlivosti.....	16
2.3.3 CPV vs. teplota a tlak vzduchu .....	17
2.3.4 CPV vs. globální oteplování.....	18
<b>3 Hypotéza .....</b>	<b>19</b>
<b>4 Data a metodika.....</b>	<b>20</b>
<b>5 Výsledky .....</b>	<b>22</b>
5.1 Výsledky pro celé sledované období .....	22
5.2 Výsledky pro zimní měsíce.....	23
<b>6 Diskuze .....</b>	<b>27</b>
6.1 Diskuze výsledků pro celé období 1959-2001 .....	27
6.2 Diskuze výsledků pro zimní měsíce 1959-2001 .....	27
<b>7 Závěr .....</b>	<b>29</b>
<b>8 Seznam grafů, map a tabulek.....</b>	<b>30</b>
8.1 Seznam příloh .....	30

<b>9 Použitá literatura a zdroje dat .....</b>	<b>31</b>
9.1 Použitá literatura.....	31
9.2 Použité zdroje dat.....	35
<b>10 Přílohy.....</b>	<b>36</b>

# 1 Úvod

V posledních desetiletích se dostává do popředí zájmu otázka oteplování klimatu Země. Existuje několik možných teorií a hypotéz snažících se vysvětlit současný globální vzestupný teplotní trend. Dá se říci, že proti sobě stojí dva tábory, jeden zastávající názor antropogenního ovlivnění a druhý, jenž hájí názor přirozené změny klimatu, bez větších zásahů lidskou činností. Jedním z možných vysvětlení, jež nenese známky antropogenního ovlivnění, je proměnlivost úrovně sluneční aktivity.

Již mnoho autorů ve svých výzkumech dokázalo, že proměnlivost sluneční aktivity skutečně ovlivňuje klimatické podmínky naší planety. Jedna z nejobsáhlejších prací na toto téma byla sepsána autory Gray et al. (2010). V souvislosti se změnami sluneční aktivity byl již například prokázán vztah se zvyšujícími se teplotami povrchové vrstvy oceánů, nadprůměrnými teplotami v troposféře a stratosféře (White et al., 1997; Coughlin a Tung, 2004; Gleisner a Thejll, 2003; van Loon et al., 2004; Matthes et al., 2006; Lean a Rind, 2001).

V rámci jedenáctiletého slunečního cyklu jsou všechny tyto prokázané vlivy na atmosféru relativně malé, nicméně je třeba se na tyto změny dívat v rámci delšího časového měřítka. Pokud se více krátkodobých změn v teplotách či atmosférickém proudění sečte dohromady, mohou být výsledné dopady na klima Země poměrně výrazné. Vliv proměnlivosti sluneční aktivity na prvky atmosférické cirkulace je důležité znát a dobře popsat i z hlediska možných dopadů nastávajících klimatických změn.

V této práci bude podrobněji rozebrán vliv proměnlivosti sluneční aktivity na různé prvky atmosférické cirkulace, a to v rámci troposféry a stratosféry, s důrazem na jejich interakci s cirkumpolárním vírem severní polokoule. Hlavní cílem výzkumné části této práce je prokázat, zda a případně jak výrazně je cirkumpolární vír ovlivňován změnami v úrovni sluneční aktivity. Pro tyto účely máme k dispozici číselné hodnoty pro různé charakteristiky cirkumpolárního víru pro období let 1959-2001.



## 2 Rešerše

### 2.1 Obecný úvod do problematiky sluneční aktivity

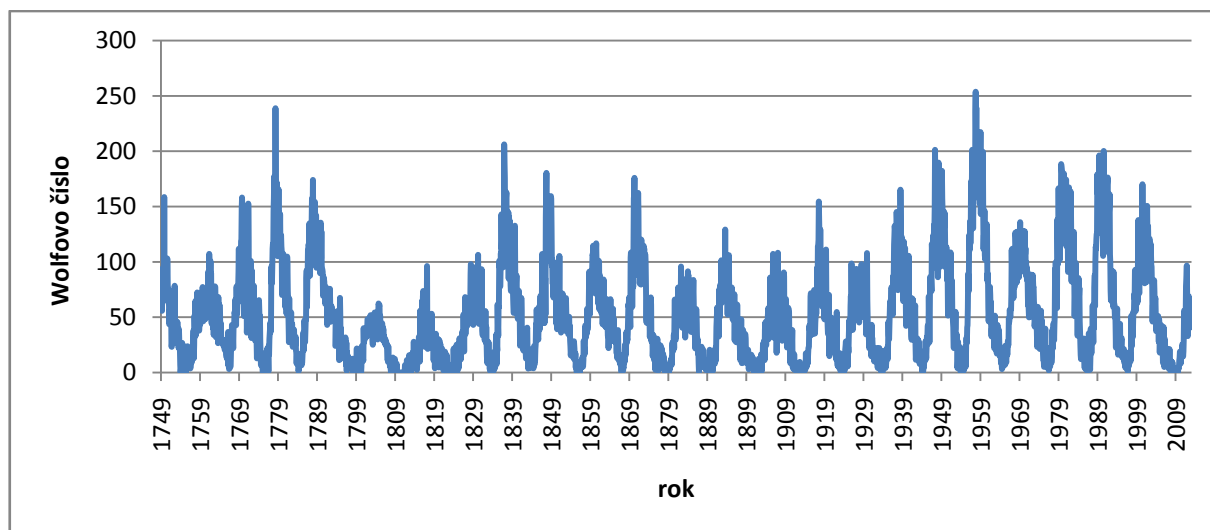
Nejdříve je třeba vymezit si samotný pojem sluneční aktivita, jak ji můžeme měřit a zkoumat. Slunce vyzařuje do prostoru velké množství energie, které ovšem není v čase stálé a mění se v různých časových měřítkách. Tyto změny se většinou vztahují k úrovni solárního magnetismu a zvyšování počtu slunečních skvrn (Thomas a Weiss, 1992). Sluneční skvrny jsou pak obecně přijímány jako tmavé, jasně ohraničené oblasti na sluneční fotosféře. Fotosféra je přibližně 100 km mocná žhavá povrchová vrstva Slunce s teplotou přibližně 5780 K (Benestad, 2002, s. 33). Tyto tmavé sluneční skvrny jsou charakteristické silnějším magnetickým polem a nižší teplotou, než je detekováno na zbytku fotosféry (Benestad, 2002, s. 43). Možná může být trochu s podivem, že větší počet studených slunečních skvrn koreluje s obdobím vyšší sluneční aktivity. Je to způsobeno právě tím, že maximum sluneční aktivity koresponduje s nejvyšší četností fakulí. Jedná se o jasné, plošně menší objekty na fotosféře, jež obklopují sluneční skvrny. Tyto fakule jsou naopak výrazně žhavější než okolní fotosféra a emitují do prostoru větší množství energie (Gray et al., 2010).

Jak již bylo řečeno, míra sluneční aktivity je v čase velmi proměnlivá. V roce 1843 to z pozorování vyvodil Schwabe, který zjistil, že průměrný počet slunečních skvrn může dosahovat hodnot až 250 skvrn, zatímco během období minima sluneční aktivity, nemusí být skvrny pozorovány vůbec. Jím objevený cyklus měl periodu přibližně jedenáct let. Tyto změny ve vyzařování Slunce jsou pojmenovány po objeviteli, můžeme se tedy setkat s pojmem Schwabeho cyklus, případně jednoduše solární cyklus (Benestad, 2002, s. 43). Později jeho pozorování zpřesnil Wolf. Ten rovněž o několik let později dokázal existenci solárního cyklu s periodicitou přibližně 78 let s vrcholy aktivity v letech 1778, 1860 a 1947.

Sluneční aktivitu lze měřit několika různými způsoby. Ve vlastní výzkumné části této práce bude pracováno hlavně s dvěma z nich, tak si je zde představíme. Jeden z těchto způsobů vyjádření úrovně sluneční aktivity je kvantifikován Wolfovým číslem, jež udává okamžité počty slunečních skvrn a jejich skupin (Gray et al., 2010). Druhým ukazatelem je rádiový tok o vlnové délce 10,7 cm, který má souvislost s vyzařováním Slunce, jeho měkkým rentgenovým zářením a s úrovní vyzařování Slunce v UV spektru (Benestad, 2002). Během období slunečních maxim se solární rádiový tok 10,7 cm zvyšuje, což se dá velmi dobře korelovat s Wolfovým číslem. Toto množství vyzářené energie se mění v závislosti na počtu a velikosti fakulí, neboť právě ty emitují do prostoru UV záření (Ruzmaikin a Feynman, 2002). Rozdíl v solární iradianci

mezi slunečním maximem a minimem je poměrně malý, činí přibližně 0,1 % (Shindell et al., 1999).

Graf 1: Měsíční hodnoty Wolfova čísla v letech 1749-2013 (zdroj dat:<http://sidc.oma.be/sunspot-data>)



## 2.2 Vliv sluneční aktivity na cirkulaci atmosféry

První nesmělé spekulace o vlivu sluneční aktivity na klima Země byly vysloveny Herschelem už na samotném počátku 19. století (Gray et al., 2010). Od té doby mnoho odborných vědeckých prací prokázalo vliv zvýšené sluneční aktivity na atmosférickou cirkulaci, nejdříve ve stratosféře a v posledních asi dvaceti letech i v troposféře, stejně tak jako na ostatní faktory ovlivňující klima Země. Obecně se přijímá jako fakt, že proměnlivost sluneční aktivity patří společně se skleníkovými plyny a aerosoly vulkanického původu mezi hlavní původce současných klimatických změn na Zemi (Ruzmaikin a Feynman, 2002).

Práce týkající se změn v atmosférické cirkulaci v souvislosti se sluneční aktivitou byly zaměřeny v největší míře na zimní měsíce a z větší části potvrdily vliv sluneční aktivity na atmosférickou cirkulaci. I přes pokrok v poznání a velké množství prací a výzkumů na toto téma zůstává vliv sluneční aktivity na změny a procesy v zemské atmosféře stále poněkud kontroverzní a často spekulované téma. V odborné literatuře můžeme nalézt čtyři hlavní hypotézy vysvětlující problematiku ovlivnění klimatu Země. Autoři v nich pokaždé využili zcela odlišné mechanismy k vysvětlení tohoto fenoménu.

Všechny významné hypotézy budou v rámci této práce diskutovány. V prvním případě se jedná o princip, kdy je Země během slunečních maxim vystavena většímu příkonu UV záření, jež je pohlcováno v ozónové vrstvě Země. Větší pohlcování UV záření vede ke zvýšení teplot ve stratosféře, a tím i ke změně cirkulace v těchto výškách. Pozměněná stratosférická cirkulace pak za vhodných podmínek šíří tyto signály do troposféry. Toto téma bude podrobněji diskutováno v kapitole 2.2.1.

Druhou hypotézu o ovlivnění zemského klimatu změnami v úrovni sluneční aktivity vyslovili ve své práci van Loon et al. (2004). Jejich vysvětlení spočívá v tom, že během období slunečních maxim, kdy v důsledku většího příkonu slunečního záření dochází k větší konvekci a zesílení srážkových úhrnů v tropech. To vede k zesílení a zvětšení tropické meridionální Hadleyho a zonální Walkerovy cirkulační buňky. Impulzem pro toto oteplování tropických oblastí je větší zahřívání bezoblačných ploch v oblastech převládajícího vyššího tlaku vzduchu, což nad oceány vede zároveň k většímu výparu. Pasáty tuto vlhkost odvádějí dále do oblastí tropické konvekce, kde pak dochází k větším srážkovým úhrnům.

Třetí hypotéza spočívá v ovlivnění klimatu Země přes elektrický obvod Země. Zde je hlavním původcem změn sluneční vítr, který je během období slunečních maxim intenzivnější (Benestad, 2002). Sluneční vítr působí na globální elektrický obvod tak, že přeměňuje hustotu ionosférických proudů. To vede ke změnám v mikrofyzice oblaků, kdy dochází v mnohem větší míře k formování ledových částíček. To u oblaků snižuje hodnoty albeda a s tím související snížená průhlednost oblaků zabraňuje unikání zpětně odraženého dlouhovlnného vyzařování Země. Tento proces vede pozměnění atmosférické cirkulace ve spodní troposféře a k teplotním změnám, kdy vyšší teploty korelují s obdobím maxim solárního cyklu. Tuto hypotézu podrobně popsal například Tinsley (2000).

Poslední a velmi kontroverzně přijímanou je tzv. Svensmarkova hypotéza. Svensmark se ve své práci (2000) pokoušel vysvětlit princip ovlivnění klimatu úrovní sluneční aktivity změnami v toku kosmického záření. Toto záření dle autora ovlivňuje výskyt nízké oblačnosti v troposféře. Ionizace způsobená kosmickým zářením má vliv na mikrofyziku oblaků a formování kondenzačních jader. Během slunečních minim, kdy není tak silný sluneční vítr, má toto kosmické záření možnost dostat se až do troposféry a zvyšuje se tak pokrytí nízkou oblačností, jež odráží sluneční záření. Tím dochází k ochlazení troposféry.

Proti tomuto přístupu a způsobu vysvětlení se postavili například Lean a Rind (2001), kteří ve své práci označili Svensmarkovo tvrzení za poněkud odvážné. Poukazují zejména na to, že pro potvrzení této hypotézy existuje málo ověřených či ověřitelných podkladů. Klimatologická měření oblaků dle nich nemají tak dlouhou

historii měření a nemohou se tedy použít pro potvrzení této myšlenky. Problém rovněž spočívá v subjektivním hodnocení pokrytí oblačností, které se může měnit v závislosti na pozorovateli (Pallé a Butler, 2002).

### 2.2.1 Sluneční aktivita a ovlivnění stratosféry a ozonové vrstvy Země

Vzrůstající počet důkazů o ovlivnění klimatu v troposféře prostřednictvím změn ve sluneční aktivitě vyvolává domněnku, že zde existuje mechanismus, který zesiluje a šíří tyto signály z rovníkových oblastí spodní vrstvy stratosféry právě do troposféry středních šířek (Barriopedro et al., 2008). Pro dostatečné pochopení procesů ve stratosféře je nejprve třeba popsat mechanismus vlivu slunečního cyklu na vyšší vrstvy atmosféry. Jak ve své práci popisují Matthes et al. (2006), změny ve sluneční aktivitě, a s tím spojené i změny v insolaci Země, se projevují již na hranici horní stratosféry a mezosféry. Signály z těchto výšek postupně prostupují níže skrz stratosféru, kde narážejí na Brewer-Dobsonovu cirkulaci, která je naopak řízena vlnami vysílanými z rovníkových oblastí troposféry. Tato hlavní meridionální cirkulace ve stratosféře a mezosféře během slunečních maxim poměrně výrazně slábne, což dle autorů vede k dramatickému oteplování v rovníkové oblasti spodní stratosféry. To se jeví logicky, neboť Brewer-Dobsonova cirkulace odvádí relativně teplejší vzduch z tropických oblastí spodní stratosféry směrem k pólům obou polokoulí. Nicméně je nutné podotknout, že autoři toto téma zkoumali pouze pro východní fázi kvazi-dvouleté oscilace.

Během jedenáctiletého slunečního cyklu se příkon slunečního záření na horní hranici atmosféry, který v průměru dosahuje hodnot přibližně  $1366 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , mění zhruba o  $1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , což procentuálně činí změnu přibližně 0,07 % (Gray et al 2010). To je samo o sobě téměř zanedbatelné číslo, na druhou stranu změny v příkonu sluneční energie nejsou stejné na všech vlnových délkách.

Přestože absorpce v UV spektru činí jen malou část z celkově přijaté energie od Slunce, v oblasti vlnových délek kratších než 300 nm změny příjmu energie v rámci solárního cyklu činí více jak 6 % (Benestad, 2002; Gray et al., 2010). Jak bylo popsáno v úvodu, původcem těchto změn je zvýšený výskyt fakulí na sluneční fotosféře během slunečních maxim. K pohlcování UV záření dochází právě ve stratosféře, přesněji v oblasti ozonové vrstvy, která se nachází přibližně ve výšce 20 až 30 km nad zemským povrchem (Benestad, 2002). K pohlcování UV záření dochází převážně v nízkých zeměpisných šířkách, v oblasti okolo rovníku, odtud je ozón transportován

k pólům pomocí Brewer-Dobsonovy meridionální oscilace (Gray et al., 2010). Během období slunečních maxim je navíc nejen zvýšený příkon UV záření, ale i samotné množství ozónu je nad průměrnými hodnotami, a to přibližně o 2 % (Shindell et al., 1999). Pokud je tedy během období slunečních maxim zvýšené množství ozónu i UV záření, je logické, že vertikální teplotní gradient ve stratosféře při pohlcování UV záření velmi výrazně narůstá, jak uvádějí například i autoři Lean a Rind (2001). Ke zvýšení teplot dochází hlavně při horní hranici stratosféry s mezosférou. Zvýšený vertikální teplotní gradient vrchní stratosféry, stejně tak jako nadprůměrné množství stratosférického ozónu a mocnost ozónové vrstvy mají vliv na změnu cirkulačních proudů ve stratosféře.

Souhrnně se výše uvedení autoři shodují na tom, že změny v absorpci UV záření v oblasti ozónové vrstvy mají podstatný vliv na cirkulaci ve stratosféře. Ty pak způsobují zvýšení teplot ve spodní stratosféře, jež dále působí na dynamickou rovnováhu v troposféře (Bochníček a Hejda, 2005).

Nicméně i teorie oteplování spodní troposféry v důsledku zvýšeného příkonu UV záření má své odpůrce a není všeobecně přijímána. Ruzmaikin a Feynman (2002) odporují tím, že zatím nebyla sestavena či vyslovena taková hypotéza či fyzikální mechanismus, jenž by jednoznačně vysvětloval, jak změny v oblasti stratosférické ozónové vrstvy v období zvýšené sluneční aktivity ovlivňují cirkulační a teplotní podmínky v troposféře. Stejně tak Matthes et al (2006) se staví proti této hypotéze. Dle nich totiž k relativnímu zvyšování teploty v rovníkovém pásmu nižší stratosféry nedochází v souvislosti se zvýšeným pohlcováním UV záření, nýbrž je způsobeno zeslabením Brewer-Dobsonovy cirkulace.

### **2.2.2 Sluneční aktivita vs. kvazi-dvouletá oscilace**

Kvazi-dvouletá oscilace (dále již jen QBO) je považována za velmi důležitého pomocníka pro při šíření signálu zvýšené sluneční aktivity ze stratosféry. Při východní fázi zonálního větru totiž velmi výrazně pomáhá přesouvat signály zvýšeného pohlcování UV záření do troposféry a tím ji teplotně ovlivnit.

QBO se nalézá v rovníkové oblasti stratosféry, ohraničena přibližně 30° severní a jižní zeměpisné šířky. Jakožto jedna z hlavních dominantních oscilací v této atmosférické vrstvě ovlivňuje cirkulační proudy od tropopauzy až po stratopauzu a zasahuje až do nižších vrstev mezosféry (Baldwin et al., 2011). Jedná se o kvazi-

periodickou oscilaci zonálního proudění s periodou, jež činí přibližně 28 až 29 měsíců (Benestad, 2002). Ač se za příčinu jejího vzniku považují vlny proudící vzhůru z rovníkové oblasti troposféry, její signál se šíří směrem dolů k tropopauze, a to rychlostí přibližně 1 km za měsíc (Baldwin et al., 2011).

Jak ve své práci vysvětlují principy QBO Baldwin et al. (2011), jedná se o velmi složitý mechanismus, který je ovšem nezbytný pro pochopení globální atmosférické cirkulace. Přestože je QBO fenoménem tropických oblastí, ovlivňuje extratropickými vlnami prakticky celé stratosférické proudění směrem k oběma pólům. Bochníček a Hejda (2005) k tomuto tématu ještě dodávají, že změny v přijímaném množství UV záření jsou úzce spojeny s fází kvazi-dvouleté oscilace. Při určité společné kombinaci tyto dva prvky zesilují, případně zeslabují stratosférický polární vír.

### **2.2.3 Sluneční aktivita vs. ovlivnění troposféry**

V posledních letech vzrůstá počet důkazů o tom, že změny v úrovni sluneční aktivity ovlivňují podmínky v troposféře, její atmosférickou cirkulaci a rovněž i teplotní podmínky. Lean a Rind (2001) ve své práci uvádějí, že k přímému ovlivnění troposféry a jejich teplot slunečním zářením dochází hlavně v oblasti viditelného a blízkého infračerveného záření. Oproti tomu cirkulace ve stratosféře je nejvíce ovlivněna změnami v příjmu UV záření. Kolísání množství dopadajícího UV záření má tedy nepřímo dopad na teplotní podmínky v troposféře.

Mimo jiné byl v souvislosti s fenoménem ovlivnění troposféry již prokázán vliv na módy nízkofrekvenční proměnlivosti (Huth et al., 2006), zvýšení teplot v rámci prakticky celé troposféry (Gleisner a Thejll, 2003; Coughlin a Tung, 2004) nebo například ovlivnění synoptických situací nad Evropou (Huth et al., 2008). Všechny tyto práce shodně hovoří o tom, že signály ze stratosféry prokazatelně dosahují až do troposféry. Ač se může v některých případech jednat o změny velmi nepatrné, může kombinace více takovýchto nepatrných změn vyvolat výraznou odezvu a pozměnit klima v lokálním či regionálním měřítku. Hlavně se pak tyto změny výrazněji projevují v delších časových intervalech (Gray et al. 2010). V následujících kapitolách bude podrobněji diskutován vliv proměnlivosti sluneční aktivity na jednotlivé charakteristiky atmosférické cirkulace v troposféře.

### **2.2.3.1 Sluneční aktivita vs. módy nízkofrekvenční proměnlivosti**

V drtivě většině studií týkajících se vlivu sluneční aktivity na atmosférickou cirkulaci v troposféře se ukazují jasné signály, hovořící o jejich vzájemné propojenosti, kdy zvýšená sluneční aktivita pozměňuje proudění. Nejdříve popíši vliv sluneční aktivity na módy nízkofrekvenční proměnlivosti, jež lze považovat za základní stavební buňky atmosférické cirkulace. Módy nízkofrekvenční proměnlivosti (někdy též nazývané dálkové vazby, teleconnections) se projevují v polích geopotenciálních výšek nebo přízemního tlaku vzduchu jako vzdálené, ale silně (kladně i záporně) korelované oblasti (viz např. Wallace a Gutzler, 1981; Barnston a Livezey, 1987).

U těchto módů nízkofrekvenční proměnlivosti se změny v intenzitě sluneční aktivity projevují například v kolísání jejich plošného rozsahu. Dále jsou modifikovány například i pozice jejich akčních center a intenzita proudění. Dle studie Hutha et al. (2006) mají během období slunečních maxim zonálně orientované módy tendenci být více intenzivní a více protažené podél rovnoběžek, zatímco módy meridionálního tvaru se stávají slabšími a méně výraznými. V následujícím textu budou podrobněji popsány významné módy nízkofrekvenční proměnlivosti, jež jsou prokazatelně modifikovány zvýšenou úrovní sluneční aktivity.

### **Severoatlantická oscilace – NAO**

Severoatlantická oscilace (dále již jen NAO) je fenomén, ke kterému se vztahuje pravděpodobně nejvíce studií na prokázání ovlivnění sluneční aktivitou. Jedná se o regionální oscilaci, jež funguje společně s Pacificko-severoamerickou oscilací jako jeden z hlavních motorů atmosférické cirkulace ve středních šířkách severní polokoule (Wallace, 2000). NAO je číselně kvantifikována rozdílem tlaku mezi svými akčními centry, která se nacházejí nad Azorskými ostrovy a Islandem. Nicméně dle některých autorů, např. Huth et al (2006), je poněkud zavádějící používat tyto zavedené indexy, neboť NAO, stejně tak jako ostatní atmosférické oscilace, nemá stále stejný tvar a plošný rozsah. Jak již bylo naznačeno výše, mají módy nízkofrekvenční proměnlivosti tendenci měnit svou obvyklou pozici, a to nejen z důvodu proměnlivosti sluneční aktivity. Akční centra oscilace mají tendenci společně slábnout či silnit. Pokud je rozdíl jejich tlaku nad normálem, nastává kladná fáze NAO+, v opačném případě se jedná o zápornou fázi NAO-.

Jak ve své práci popsal Huth et al. (2006) má NAO během období slunečním maxim tendenci sílit a stává se prostorově výraznější. Jedná se o oscilaci spíše zonálního tvaru, což s sebou nese výraznější západní proudění, jež ovlivňuje podmínky prakticky nad celým evropským kontinentem (Bochníček a Hejda, 2005). Během období slunečních minim se NAO naopak stává méně výraznou oscilací a i z hlediska atmosférické cirkulace větších měřítek je její význam poněkud utlumen. Tyto poznatky potvrdil ve své práci i Kodera (2003), jenž definoval tvar NAO a jeho lokální projevy v závislosti na solárním cyklu obdobně jako výše zmínění autoři. Nicméně ne všichni se v tomto názoru shodují. Benestad (2002) ve své publikaci vyslovil domněnku, že NAO není silně ovlivněna sluneční aktivitou, respektive, že pro toto tvrzení zatím není dostatek ověřených důkazů.

### **Arktická oscilace – AO**

Dalším významným módem nízkofrekvenční proměnlivosti, jenž je úzce spojen se změnami sluneční aktivity je Arktická oscilace (dále již jen AO). Jedná se o cirkulaci vzduchu, jež je téměř symetricky rozprostřena okolo severního pólu. Prostupuje prakticky celou troposférou a její horní hranice je rozpoznatelná až ve vrchní části stratosféry (Ruzmaikin a Feynman, 2002). Opět i AO je v čase zesilována a zeslabována obdobně jako NAO. Její kladná fáze, jež je definována větším rozdílem tlaku vzduchu mezi vyššími a nižšími zeměpisnými šířkami, koresponduje s mírnějším klimatem nad severními částmi Evropy, převážně pak nad Skandinávií (Rohli et al., 2005). V opačném případě, kdy je rozdíl tlaku vzduchu mezi jejími akčními centry menší, nastává logicky záporná fáze AO.

AO, jinak také nazývaná severní prstencový mód (Northern Annular Mode, NAM) je úzce propojena s NAO, respektive NAO je často považována za její regionální odnož (Benestad, 2002). Dle výroku Thompsona a Wallace (1998) se projevy AO v troposféře dají interpretovat také jako jakýsi zesilovač, jenž přijímá signály od zesilujícího, případně slábnoucího stratosférického polárního víru. Z toho logicky vyplývá, že právě tato atmosférická oscilace umístěná v polární oblasti severní polokoule je hlavním spojovacím článkem, pomocí kterého pronikají do nižší troposféry stratosférické disturbance spojené s proměnlivostí ve sluneční aktivitě. Tuto hypotézu ve své práci potvrdili i Baldwin a Dunkerton (2001) nebo Ruzmaikin a Feynman (2002).

I v případě AO nalezneme v odborné literatuře množství zpracovaných prací na téma jejího ovlivnění sluneční aktivitou. K zajímavým výsledkům došli ve svém



výzkumu například Matthes et al. (2006). Autoři se zabývali přenosem solárních signálů ze stratosféry do troposféry. Došli k závěru, že zatímco během listopadu nejeví stratosférická a troposférická cirkulace v oblasti severního pólu společné znaky, během prosince se tato situace radikálně mění. AO je pak silně pozitivně přetvářena stratosférickým cirkumpolárním vírem a tato závislost přetrvává až do ledna. Slábnout pak začíná teprve během měsíce února.

### **Pacificko-severoamerická oscilace – PNA**

Pacifická severoamerická oscilace (dále již jen PNA), jak již bylo řečeno výše, se spolu s NAO nejvíce podílí na ovlivnění atmosférické cirkulace a utváření klimatu ve středních šířkách severní polokoule (<http://www.nc-climate.ncsu.edu>). PNA se sestává ze tří hlavních akčních center. Jedno je umístěno poblíž aleutské tlakové níže, další se nalézají v západní části severoamerického kontinentu a poslední akční centrum můžeme nalézt v oblasti Floridy (Huth et al., 2006). Celkový tvar oscilace je spíše meridionálního protažení a proto se na něj vztahují výsledky práce výše zmíněného kolektivu, kdy bylo zjištěno, že cirkulační módy tohoto tvaru mají během vyšší sluneční aktivity tendenci slábnout a naopak, během období slunečních minim se stává větší a výraznější.

#### ***2.2.3.2 Sluneční aktivita vs. synoptické situace v Evropě, atmosférické bloky***

S předchozí kapitolou týkající se módů nízkofrekvenčních variability velmi úzce souvisí i výskyt synoptických typů. Pokud totiž sluneční aktivita ovlivňuje tyto módy, je logické, že se změny budou týkat i převládajícího směru větru. Huth et al. (2008) to ve své práci rovněž potvrdili. Během období zvýšené sluneční aktivity lze prakticky nad celým evropským kontinentem detekovat zesílené západní proudění během zimního období. Naopak během minim sluneční aktivity nad Evropou převládají více východní typy proudění. Tyto změny výrazně ovlivňují klima regionu, kdy západní větry přinášejí více srážek a mírnější teploty z oblasti Atlantského oceánu, kdežto východní větry s sebou přinášejí kontinentální počasí, často spojené se silnými mrazy. Během období slunečních maxim je rovněž zesílené i polární tryskové proudění (Matthes et al. 2006).

Pokud je v období slunečních maxim prokázané výraznější a zesílené západní proudění, lze z toho logicky vyvodit, že v této souvislosti bude omezena tvorba atmosférických bloků. To ve své práci diskutovali například Barriopedro et al. (2008), již svůj výzkum vztáhli na celou severní polokouli. Jak autoři uvádějí, již dřívější studie vyslovily hypotézu, že četnost výskytu atmosférických bloků kolísá v souladu s fází jedenáctiletého slunečního cyklu. Nicméně toto tvrzení nebylo v této práci tak zcela potvrzeno. Zvýšený výskyt atmosférických bloků je během slunečních maxim patrný v oblasti východního Pacifiku, ovšem na druhou stranu četnost těchto bloků v oblasti Severního Atlantiku není nijak spjatá se sluneční aktivitou. Nicméně autoři prokázali, že úroveň sluneční aktivity ovlivňuje délku trvání těchto synoptických jevů. Atmosférické bloky mají prokazatelně delší trvání během období slunečních minim, kdy je prokázané zesílené západní proudění.

#### ***2.2.3.3 Sluneční aktivita vs. teplota vzduchu, oceánu a tlak vzduchu***

Na téma teplotních změn bylo sepsáno velké množství vědeckých prací, neboť fenomén oteplování a změn teplot je v posledních desetiletích velmi silně diskutován. Je otázkou, nakolik mohou pouhé změny v úrovni sluneční aktivity vysvětlit současnou vzrůstající tendenci teplot vzduchu. Nicméně právě proměnlivost sluneční aktivity se spolu s aerosoly vulkanického původu a skleníkovými plyny antropogenního původu označuje za původce současných teplotních změn v troposféře (Ruzmaikin, Feynman, 2002).

Jak již bylo naznačeno v jedné z dřívějších kapitol, proměnlivost sluneční aktivity má přímý dopad na změny teplot oceánů a vzduchu. White et al. (1997) ve své práci prokázali, že v souladu s měnící se úrovní sluneční aktivity se rovněž mění i teplota povrchové vrstvy oceánu. Tyto změny byly prokázány v rámci celé svrchní pyknoklinní vrstvy oceánů až do hloubek 80 až 160 metrů, a to pro Atlantský, Tichý a Indický oceán v pásmu středních zeměpisných šířek 30-50°. Nejednalo se sice o teplotní změny velkého rozsahu, naměřeny byly hodnoty přibližně 0,1°C, nicméně i tento nepatrný teplotní výkyv má poměrně velký dosah na změnu podmínek v troposféře. Jak ve své práci zmínili van Loon et al. (2004), i toto nepatrné oteplení povrchu oceánu vede k vlhčím podmínkám v tropických oblastech a k zvýraznění Hadleyho cirkulační buňky.

Častěji se v této souvislosti zkoumá, zda má proměnlivost sluneční aktivity nějaký prokazatelný vliv na teploty vzduchu. Coughlin a Tung (2004) ve své práci prokázali, že během období slunečních maxim dochází ke globálnímu zvýšení teplot v prakticky celé tloušťce troposféry. To samé potvrdili i Gleisner a Thejll (2003), již ve své práci zdůraznili také fakt, že troposféra se v nižších a středních šířkách stává během slunečních maxim vlhčí. Tento fenomén byl již diskutován v dřívějších kapitolách.

Teploty při povrchu Země a prakticky v celé tloušťce troposféry úzce souvisí s výškou geopotenciálních hladin. Pokud tedy mají změny sluneční aktivity vliv na tlak vzduchu, logicky s tím by se měla měnit i teplota vzduchu v dané výškové hladině a pod ní (Shindell et al., 1999). Autoři tuto hypotézu také následně rozvedli. Ve své práci došli k zjištění, že geopotenciální hladiny se v nižších až středních zeměpisných šířkách dostávají během období solárních maxim výš. To s sebou přináší vyšší tlakové pole při povrchu země, více bezoblačného počasí a tím pádem i zvýšené teploty.

Stejní autoři ve své práci taktéž rozvedli hypotézu, že během slunečních maxim dochází k relativnímu oteplení vyšších vrstev troposféry v nižších zeměpisných šířkách a naopak k ochlazení ve stejné výškové hladině v polárních oblastech. Jako vysvětlení uvádějí utlumenou funkci Brewer-Dobsonovy cirkulace (viz. Kapitola 2.2.1). Ke stejným výsledkům, tedy že během období slunečních maxim se více zahřívá troposféra v tropických oblastech, a to v rámci celé své tloušťky, došli i van Loon et al. (2004).

Van Loon a Shea (1999) ve své práci zdokumentovali kolísání teplot vzduchu ve střední troposféře, mezi výškovými hladinami 200-750 hPa. Na tomto výzkumu je zajímavé, že byl na rozdíl od většiny ostatních prací, jež jsou na toto téma prováděny, aplikován na letní měsíce. Autoři zde zdokumentovali kolísání teplot v souladu se změnami sluneční aktivity. Hodnoty činí přibližně 0,15-0,2°C pro celou severní polokouli, kdy vyšší teploty jsou v souladu s obdobím maxima sluneční aktivity.

Matthes et al. (2006) prokázali poměrně výrazné teplotní změny na začátku zimy v oblastech vyšších zeměpisných šířek severní polokoule. Autoři zde zjistili, že k největším teplotním výkyvům během slunečních maxim dochází v oblasti spodní troposféry. Tyto se začínají projevovat nejdříve nad velkými pevninskými celky, Sibiří a Severní Amerikou a změny v teplotách zde dosahují hodnot 2 až 3°C.

## 2.3 Cirkumpolární vír severní polokoule

Cirkumpolární vír severní polokoule (dále již jen CPV) se, jak už název sám napovídá, rozprostírá v severních polárních oblastech. Jedná se o silné západní proudění ve střední a vyšší troposféře ohraničující oblast nízkého tlaku vzduchu v oblasti pólu (<http://oxfordindex.oup.com/>). CPV je na svém jižním okraji ohraničen polárním tryskovým prouděním. Toto západní proudění může být dle Frauenfelda a Davise (2003) také ve zkratce popsáno jako oblast, kde v meridionálním směru existuje největší tlakový gradient. Stejní autoři také zjistili velmi úzký vztah mezi dynamickými změnami klimatu a plochou, tvarem a intenzitou CPV na severní polokouli (Frauenfeld a Davis, 2003), což bude podrobněji diskutováno v poslední kapitole.

Tento fenomén je v hladině 500 hPa v zimních měsících obvykle definován jako oblast ohraničená izohypsou 5460 m (Frauenfeld a Davis, 2003). Jednotlivé izohypsy definující hranici CPV v tlakové hladině 500 hPa během ostatních měsíců jsou k nalezení v příloze 1. Dle názoru Angella (2006) je nicméně lepší CPV definovat v hladině 300 hPa, neboť v této tlakové hladině blízko tropopauzy je CPV nejlépe rozpoznatelný a jasně ohraničený polárním tryskovým prouděním. V této práci bude nicméně nadále počítáno s hodnotami CPV pro hladinu 500 hPa, a tak se i další charakteristiky tohoto cirkulačního jevu budou vztahovat právě na tuto tlakovou hladinu.

Plocha, na které se CPV rozprostírá, se logicky mění v závislosti na právě probíhajícím ročním období. Největší plochy, více než  $8,5 \times 10^7 \text{ km}^2$  dosahuje CPV únoru (Wrona a Rohli, 2007), což souvisí s opožděnou reakcí atmosféry na vrchol zimy. Nicméně nejen velikost CPV ovlivňuje lokální klimatické podmínky. Záleží také na tvaru, zejména kruhovitosti tohoto fenoménu. V případech, kdy je CPV více kruhovitý, je i zesílené západní tryskové proudění a oblast studeného vzduchu se soustředí převážně nad oblastí pólu. Dochází k menší meridionální výměně vzduchu mezi nižšími a vyššími zeměpisnými šířkami (Rohli et al., 2005) a silné tryskové proudění navíc zamezuje přísunu teplejšího vzduchu ze středních zeměpisných šířek. Naopak během období, kdy je tvar CPV více heterogenní, dochází k intenzivnější výměně vzduchu s nižšími zeměpisnými šířkami a v oblasti pólu nedochází k tak výrazným teplotním extrémům.

### 2.3.1 CPV vs. signály ze stratosféry

CPV funguje jako propojovací článek, který předává signály ze stratosférického polárního víru níže do troposféry, kde dalším článkem tohoto řetězce můžeme nalézt v AO. Jak již bylo uvedeno v dřívější kapitole o AO, jedná se hlavně o signály v pozměněné stratosférické cirkulaci, jež vedou k obdobným změnám v nižších vrstvách atmosféry. Několik autorů, mezi nimi například Angell (2006), se pokoušeli prokázat, zda existuje nějaký vztah mezi CPV a různými fázemi QBO, tedy zda tato stratosférická cirkulace pozměňuje charakteristiky CPV. Autor ve své práci nedošel k žádným statisticky významným výsledkům, které by potvrzovaly tuto teorii.

### 2.3.2 CPV vs. módy nízkofrekvenční proměnlivosti

Pokud tedy CPV slouží do jisté míry jako šířitel změnéné atmosférické cirkulace ve stratosféře, jež se mění v důsledku proměnlivosti sluneční aktivity, dá se zároveň předpokládat, že se i charakteristiky některých módů nízkofrekvenční proměnlivosti budou měnit společně s charakteristikami CPV.

Dle studie Angella (2006) lze během zimy pozorovat statisticky významné zesilování AO na úkor zmenšující se plochy CPV. U CPV lze oscilace v ploše pozorovat během všech ročních období. Souvislost měnící se plochy CPV a AO je však patrná pouze v zimním období. Z tohoto důvodu lze tyto dva fenomény dávat do vzájemného vztahu pouze během zimních měsíců, nikoliv celoročně. Tato obsáhlá studie, jež zkoumá chování CPV na hladině 300 hPa byla potvrzena výsledky práce Wrona et al. (2007). Ti stejný jev zkoumali na hladině 500 hPa. Došli k závěru, že abnormálně rozsáhlý CPV během prosince silně souvisí s plochou AO. Pro lednové hodnoty tyto poznatky potvrdil i výzkum Rohli et al. (2005). Je nutno ještě podotknout, že všechny výzkumy se týkaly téměř shodného časového období. První zmíněný autor pracoval s daty z let 1963-2001, ostatní pracovali s lety 1959-2001.

Jak již bylo naznačeno dříve, NAO se považuje za regionální odnož AO. Proto v případě tohoto módu nízkofrekvenční proměnlivosti můžeme předpokládat obdobné výsledky o vzájemném ovlivnění s CPV. To ostatně potvrdili Wrona a Rohli (2007), kteří tuto situaci zkoumali pro prosinec. Došli k závěru, že během kladné fáze NAO, jež je spojena s větším rozdílem tlaku vzduchu mezi akčními centry a se zesíleným

západním prouděním, můžeme nalézt nápadně plošně zmenšený CPV. Analogicky byly opačné výsledky dokázány pro zápornou fázi NAO.

Co se týká vzájemného vztahu El Niña a CPV, byly zde prokázány poměrně velmi silné tendence CPV být plošně rozsáhlejší jeden až dva roky před maximem El Niña a naopak nejmenší plochu zabírá CPV přibližně jeden rok po tomto maximu (Angell, 2006). Je to pravděpodobně způsobeno tím, že El Niño nepřímo ovlivňuje globální cirkulaci atmosféry a otepluje ji. Spolu s aerosoly pocházejícími z vulkanických erupcí má vliv na dočasné změny teplot troposféry po celé zeměkouli (Benestad, 2002), i když tyto vulkanické aerosoly mají tendenci troposféru ochlazovat.

### **2.3.3 CPV vs. teplota a tlak vzduchu**

Tak jako i u ostatních atmosférických cirkulací, i v případě CPV se dá předpokládat, že jeho plošné kontrakce a expanze budou mít vliv na teploty vzduchu a výšku geopotenciálních hladin. Tak například Angell (2006) ve své studii prokázal, že zmenšování CPV v letech 1963-2001 odpovídá zvyšování teploty polárních oblastí v geopotenciálních hladinách 850 až 300 hPa. Taktéž Rohli et al. (2005) předpokládali, že velikost CPV má spojitost s teplotami v této oblasti. To ve svém výzkumu také potvrdili, když výsledky prokázaly ovlivnění teplot velikostí CPV v oblasti ohraničené 60°severní šířky. Ovlivnění teplotních podmínek tímto fenoménem v rámci celé severní polokoule nicméně nebylo prokázáno. K zajímavému zjištění došli Frauenfeld a Davis (2003), již ve své práci popsali, že zmenšený CPV je spojen s vyššími hodnotami přízemního tlaku vzduchu.

Jak již bylo řečeno výše, na teplotní podmínky v polárních oblastech nicméně nemá vliv pouze plošný rozsah CPV, nýbrž i jeho tvar, jenž buď umožňuje, případně zabraňuje meridionální cirkulaci vzduchu (Rohli et al., 2005).

### 2.3.4 CPV vs. globální oteplování

Jelikož projevy současného globálního oteplování jsou nejvíce znatelné ve vyšších zeměpisných šířkách a polárních oblastech, můžeme předpokládat, že CPV bude na tyto teplotní změny citlivě reagovat. Rohli et al. (2005) ve své práci vyslovili domněnku, že růst teplot při povrchu země může v průběhu delšího časového období způsobit zmenšení plochy CPV, a tím že se zmenší objem studeného vzduchu nad pólem. Tutéž domněnku autoři vyslovili i pro situaci na jižní polokouli, kde je ovšem obtížné detekovat tyto změny z důvodu nedostatečného pokrytí měřicími stanicemi. V novější práci na toto téma Wrona a Rohli (2007) připustili, že kruhovitost CPV se v průběhu období 1959-2001 mírně zvýšila. Nicméně nebylo zde podáno vysvětlení, zda se jedná a příčinu nebo důsledek zvyšujících se teplot v polárních oblastech v tomto časovém období.

Frauenfeld a Davis (2003) ve své práci zaměřené na proměny chování CPV v souvislosti s trendem globálního oteplování, podali souhrnnou zprávu. Zkoumali fenomén CPV v několika tlakových hladinách, a tak podrobně zdokumentovali reakci CPV na globální oteplování ve vertikálním směru. Došli k zjištění, že výrazné smršťování a zmenšování plochy CPV, ke kterému dochází hlavně od 70. let minulého století, má nejvýraznější teplotní projevy v nižších zeměpisných šířkách a ve vyšších vrstvách troposféry. To tedy dle autorů napovídá o tom, že CPV se ve vyšších hladinách troposféry dá dobře interpretovat jako indikátor proměnlivosti teplot na plochách většího měřítka (Frauenfeld a Davis, 2003).

Závěrem lze tedy říci, že výzkumem charakteristik CPV můžeme odhalit dosud možná skryté projevy současného trendu globálního oteplování. Navíc fakt, že CPV byl po desetiletí používán v nespočtu studií k popsání proměnlivosti atmosférické cirkulace pro celou severní polokouli, dodává jeho výzkumům na důležitosti.

### 3 Hypotéza

Jak zde již bylo řečeno, dle Angella (2005) existuje tendence CPV smršťovat se během období slunečního maxima. Autor tento fenomén zkoumal v jiné tlakové hladině, než ze které máme k dispozici data pro vlastní výzkumnou práci. Nicméně z faktů shrnutých v předchozích částech práce můžeme i my vyslovit hypotézu, že proměnlivost sluneční aktivity ovlivňuje plochu a míru kruhovitosti CPV.

Pro tuto hypotézu velmi silně hovoří fakt, že během období slunečních maxim se zvyšují teploty v rámci celé tloušťky troposféry (Coughlin a Tung, 2004). Dále byla prokázána tendence CPV nabývat v zimním období během slunečních maxim více kruhovitěho tvaru (Wrona a Rohli, 2007), což zmenšuje pokrytí polárních oblastí studeným vzduchem. Mezi další argumenty podporující tuto hypotézu patří i fakt, že k největším teplotním změnám v souvislosti s proměnlivou sluneční aktivitou dochází hlavně v tropech a nad většími pevninskými celky v polárních oblastech. Z toho tedy logicky vyplývá, že by během období slunečních maxim mělo dojít ke zmenšení plochy CPV v oblasti severního pólu a CPV by rovněž měl mít více kruhovitý tvar. Nulová hypotéza tedy zní: proměnlivost sluneční aktivity neovlivňuje plochu a míru kruhovitosti CPV. A průměrná plocha CPV i jeho kruhovitost je shodná v období slunečních maxim a minim.



## 4 Data a metodika

Pro vlastní práci byla použita volně dostupná data o úrovni sluneční aktivity. Měsíční hodnoty Wolfova čísla byly staženy z portálu SIDC - Solar Influences Data Analysis Center (<http://sidc.oma.be/sunspot-data>). Portál nabízí data z původních měření a vyhlazené průměry, v práci byly použity původní naměřené hodnoty. Měsíční průměry slunečního rádiového toku s vlnovou délkou 10,7 cm byly získány z portálu organizace Space Weather Canada. Byla použita upravená data, jež jsou dodatečně opravována z důvodu měnící se vzdálenosti mezi Sluncem a Zemí ([http://www.spaceweather.ca/data-donnee/sol\\_flux/sx-3-eng.php](http://www.spaceweather.ca/data-donnee/sol_flux/sx-3-eng.php)). Třetím zdrojem dat byl článek Wrona a Rohli (2007), jenž obsahuje hodnoty plochy, kruhovitosti a polohy středu CPV pro leden, únor, duben, červenec, říjen a prosinec. Data jsou k dispozici pro období 1959-2001, což dohromady činí soubor 258 měsíců. Tato data byla určena pro tlakovou hladinu 500 hPa a jsou k nalezení v příloze 2. Tento datový soubor nicméně nebyl použit celý, byly z něj odebrány hodnoty charakterizující CPV pro červenec roku 1965 a 1968, neboť údaje pro tyto měsíce nebyly kompletní.

K hodnotám CPV byl k příslušnému měsíci vždy přiřazen údaj o míře sluneční aktivity ve formě Wolfova čísla a měsíčního průměru rádiového toku 10,7 cm. Postupně byly provedeny dvě analýzy. Jedna pracovala s kompletním datovým souborem, druhá byla provedena pouze pro zimní období, tj. pro měsíce prosinec, leden a únor. Datový soubor byl v obou případech seřazen dle úrovně sluneční aktivity, a to postupně prostřednictvím obou ukazatelů. Data byla dále rozčleněna dvěma různými způsoby do tří skupin. První rozdělení spočívalo v rozdělení datového souboru na třetiny. Z tohoto rozdělení bylo dále pracováno s třetinami obsahujícími data pro 84 měsíců (respektive 43 měsíců pro zimní období), které reprezentovaly vysokou a nízkou úroveň sluneční aktivity. Druhé rozdělení bylo obdobné, avšak v tomto případě se data stratifikovala pomocí kvartilů, datový soubor byl tedy rozčleněn tak, že hodnoty reprezentující vysokou respektive nízkou úroveň sluneční aktivity tvořily čtvrtinu původního souboru dat. Ve výsledku tedy vznikly dva soubory dat reprezentující vysokou a nízkou sluneční aktivitu obsahující 63 měsíčních hodnot pro kompletní datový soubor (respektive 43 měsíců pro zimní období).

Pro celé i zimní období tedy vzniklo po čtyřech testovacích souborech. Ty jsou rozčleněné na třetiny a čtvrtiny slunečních maxim a minim dle hodnot Wolfova čísla a rádiového toku 10,7 cm. Na tyto výběry byl aplikován dvou-souborový Kolmogorovovův-Smirnovův test, kterým se zjišťovalo, zda se empirická rozdělení plochy a kruhovitosti CPV statisticky významně liší mezi vysokou a nízkou sluneční aktivitou. Data byla ve všech skupinách postupně vzestupně seřazena dle plochy

a míry kruhovitosti CPV a byly spočítány relativní a kumulativní relativní četnosti. Dále bylo pracováno již pouze se spočítanými kumulativními relativními četnostmi pro maxima a minima. Největší rozdíl mezi kumulativní četností pro vysokou a nízkou sluneční aktivitu byl porovnán s testovacím kritériem D. Všechny hodnoty byly testovány na 90% a 95% hladině spolehlivosti.

Další použitou statistickou metodou byl dvou-výběrový t-test, jenž byl v práci aplikován pro porovnání průměrné plochy a míry kruhovitosti CPV během období vysoké a nízké sluneční aktivity. Zde bylo použito testování na 95% hladině spolehlivosti.

## 5 Výsledky

### 5.1 Výsledky pro celé sledované období

Nejprve se budeme věnovat výsledkům dvou-souborového Kolmogorovova-Smirnovova testu (dále již jen K-S test) a dvou-výběrového t-testu, jež byly provedeny pro celé sledované období. Již byla vyslovena nulová hypotéza, která zní tak, že proměnlivost sluneční aktivity neovlivňuje plochu a míru kruhovitosti CPV, tedy že průměrná plocha CPV i jeho kruhovitost je shodná v obdobích s vysokou a nízkou sluneční aktivitou.

Výsledky obou zmíněných testů pro plochu CPV za celé období, ze kterého máme data, jsou dispozici níže v tabulce 1. Ve všech případech byla hodnota testové statistiky menší než kritická hodnota D, a to pro 90% i 95% hladinu spolehlivosti. Ani v jednom z případů tedy není možno nulovou hypotézu zamítnout, nebyl tedy prokázán vliv sluneční aktivity na plochu CPV během celého období. Dále byl na datech použit t-test, jenž měl odhalit, zda existuje rozdíl mezi průměrnou plochou CPV během slunečních maxim a minim. I v tomto případě nezamítáme nulovou hypotézu a nepodařilo se prokázat rozdíl mezi průměrnou plochou CPV během celého sledovaného období.

Tab. 1: Hodnoty Kolmogorovova-Smirnovova testu na 90% a 95% hladině spolehlivosti a t-testu na 95% hladině spolehlivosti. Počítáno pro plochu CPV během celého období (měsíce 1,2,4,7,10 a 12).

členění	dvou-souborový K-S test			dvou-výběrový t-test	
	krit. hodnota	D, $\alpha=10\%$	D, $\alpha=5\%$	T hodnota	t- krit.
třetiny dle Wolfova čísla	0.00543	0.1323	0.1475	0.279	1.974
kvartily dle Wolfova čísla	0.00537	0.1525	0.17	0.123	1.979
třetiny dle toku 10.7 cm	0.005	0.1323	0.1475	0.228	1.974
kvartily dle toku 10.7 cm	0.00575	0.1525	0.17	0.154	1.979

Obdobně byly oba dva testy použity pro celé zájmové období i na prokázání toho, zda se empirické rozdělení míry kruhovitosti CPV liší mezi vysokou a nízkou sluneční aktivitou. Vypočítané hodnoty, včetně hodnot t-testu pro prokázání rozdílu průměrných hodnot kruhovitosti CPV, jsou v tabulce 2. Ani v těchto případech nebyl prokázán vliv sluneční aktivity na míru kruhovitosti CPV a zároveň ani výsledné

hodnoty provedeného t-testu neprokázaly rozdíl mezi průměrnými hodnotami kruhovitosti při vysoké a nízké sluneční aktivitě.

Tab. 2: Hodnoty Kolmogorovova-Smirnovova testu na 90% a 95% hladině spolehlivosti a t-testu na 95% hladině spolehlivosti. Počítáno pro kruhovitost CPV během celého období (měsíce 1,2,4,7,10 a 12).

členění	dvou-souborový K-S test			dvou-výběrový t-test	
	krit. hodnota	D, $\alpha=10\%$	D, $\alpha=5\%$	T hodnota	t- krit.
třetiny dle Wolfova čísla	0.0018	0.1323	0.1475	0.749	1.974
kvartily dle Wolfova čísla	0.00367	0.1525	0.17	0.595	1.979
třetiny dle toku 10.7 cm	0.0014	0.1323	0.1475	0.984	1.974
kvartily dle toku 10.7 cm	0.00134	0.1525	0.17	0.42	1.979

## 5.2 Výsledky pro zimní měsíce

V další fázi byly provedeny obdobné testovací postupy jako v předchozí kapitole, ale nyní byly zkoumány charakteristiky CPV pouze v zimních měsících (prosinec, leden a únor). V tomto období by měl CPV být dle poznatků získaných z rešeršní části práce více ovlivněn úrovní sluneční aktivity. V prvním případě byla opět testována plocha CPV, zda se během zimního období výrazně mění mezi obdobími s vysokou a nízkou sluneční aktivitou (tabulka 3), v druhém případě byla testována míra kruhovitosti CPV, viz tabulka 4. V případě zkoumané plochy CPV, nebyla u K-S testu i t-testu zamítnuta nulová hypotéza, nepodařil se prokázat rozdíl mezi soubory dat v žádném z případů.

Tab. 3: Hodnoty Kolmogorovova-Smirnovova testu na 90% a 95% hladině spolehlivosti a t-testu na 95% hladině spolehlivosti. Počítáno pro plochu CPV během zimního období (měsíce 1,2 a 12).

členění	dvou-souborový K-S test			dvou-výběrový t-test	
	krit. hodnota	D, $\alpha=10\%$	D, $\alpha=5\%$	T hodnota	t- krit.
třetiny dle Wolfova čísla	0.00183	0.186	0.2074	0.182	1.989
kvartily dle Wolfova čísla	0.00302	0.2157	0.2404	0.287	1.999
třetiny dle toku 10.7 cm	0.00176	0.186	0.2074	0.1728	0.1989
kvartily dle toku 10.7 cm	0.00203	0.2157	0.2404	0.231	0.1999

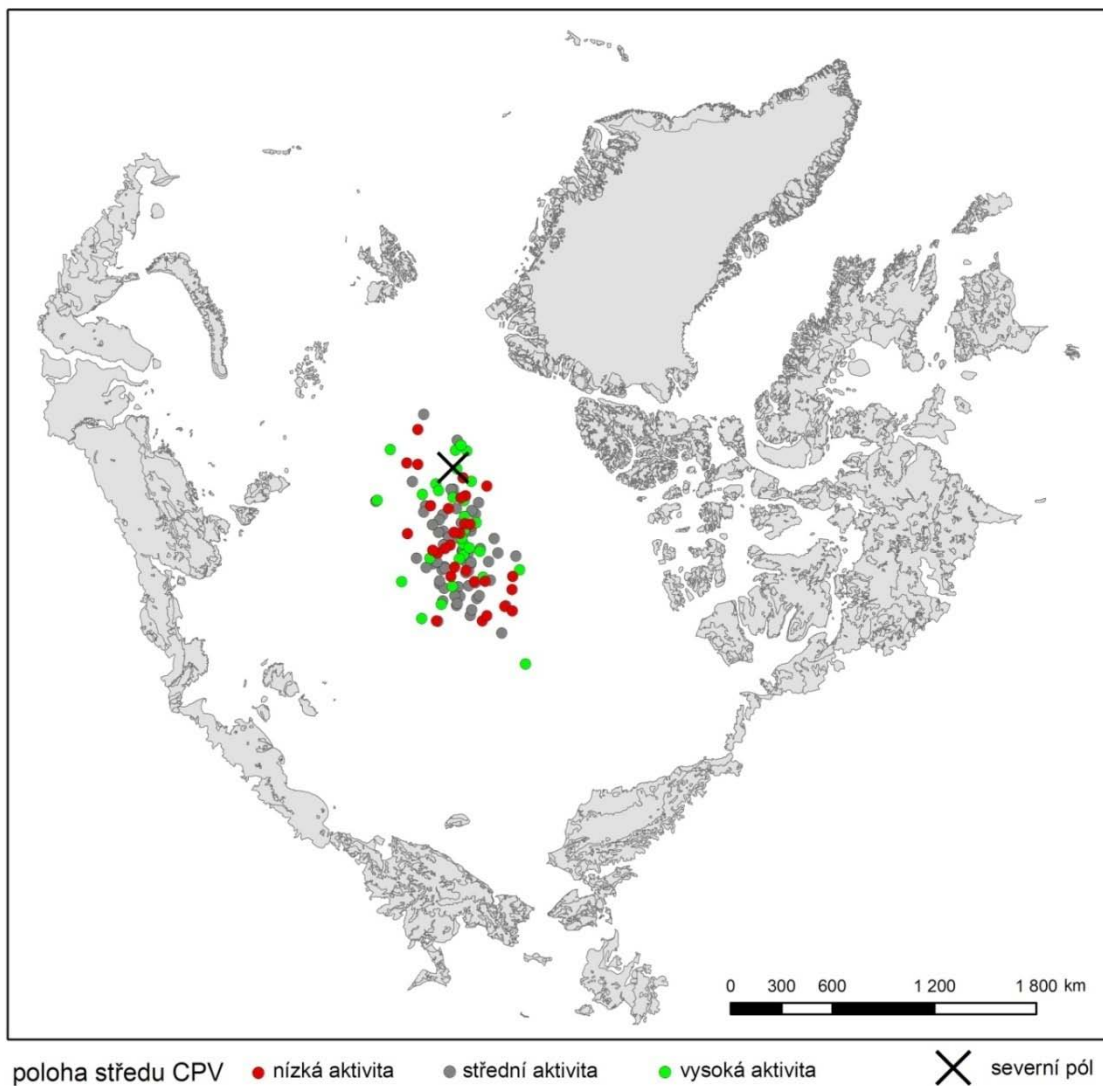
Jak již bylo zmíněno, ve druhém případě byla zkoumána míra kruhovitosti CPV, zda se její empirické rozdělení liší mezi vysokou a nízkou sluneční aktivitou. Výsledky obou testů dopadly obdobně jako v předešlém případě a nulová hypotéza nebyla zamítnuta.

Tab. 4: Hodnoty Kolmogorovova-Smirnovova testu na 90% a 95% hladině spolehlivosti a t-testu na 95% hladině spolehlivosti. Počítáno pro kruhovitost CPV během zimního období (měsíce 1,2 a 12).

členění	dvou-souborový K-S test			dvou-výběrový t-test	
	krit. hodnota	D, $\alpha=10\%$	D, $\alpha=5\%$	T hodnota	t- krit.
třetiny dle Wolfova čísla	0.00382	0.186	0.2074	0.429	1.989
kvartily dle Wolfova čísla	0.00895	0.2157	0.2404	0.124	1.999
třetiny dle toku 10.7 cm	0.00383	0.186	0.2074	0.208	1.989
kvartily dle toku 10.7 cm	0.0049	0.2157	0.2404	0.143	1.999

V souboru dat charakterizujícím CPV byly obsaženy i informace o poloze jeho středu. Z těchto dat byla vytvořena mapa, jež zachycuje polohu středu CPV pro období s nízkou, střední a vysokou sluneční aktivitou, viz níže mapa 1. Mapový podklad je zobrazen v Lambertově azimutálním zobrazení. Pro tento mapový výstup bylo vybráno členění pro zimní období, a to dle kvartilů Wolfova čísla. Toto členění bylo vybráno proto, že z výsledků K-S testu je patrné, že zde existuje relativně nejvyšší ovlivnění sluneční aktivitou. Ta, jak již bylo řečeno, má na CPV větší vliv v zimním období. Na mapě je dobře patrné, že poloha středu CPV není rovnoměrně rozložena v okolí severního pólu, jak by se mohlo nabízet.

Mapa 1: Poloha středu CPV během zimního období v letech 1959-2001. Úroveň sluneční aktivity je rozčleněna na kvartily dle hodnoty Wolfova čísla.



Pro celkové doplnění jsou ještě v tabulce 5 uvedeny hodnoty průměrné plochy CPV během období s vysokou a nízkou sluneční aktivitou, a to pro zimní měsíce i celé sledované období 1959-2001.

Tab. 5: Hodnoty průměrné plochy CPV (km<sup>2</sup>) během vysoké a nízké sluneční aktivity pro zimní měsíce a celé sledované období.

	průměrná plocha CPV (km <sup>2</sup> )			
	celé období		zimní období	
členění	sluneční min.	sluneční max.	sluneční min.	sluneční max.
třetiny dle Wolfova čísla	70 821 426	69 330 505	74 910 475	73 673 531
kvartily dle Wolfova čísla	70 951 943	68 620 318	74 300 962	73 202 541
třetiny dle toku 10.7 cm	70 820 778	69 195 208	75 004 606	73 748 651
kvartily dle toku 10.7 cm	71 552 624	69 421 307	74 514 841	73 292 429

## 6 Diskuze

### 6.1 Diskuze výsledků pro celé období 1959-2001

Během celého období, ze kterého jsme měli k dispozici data, tj. měsíce leden, únor, duben, červenec, říjen a prosinec v rozmezí let 1959-2001, nebyl prokázán vliv sluneční aktivity na žádný ze zkoumaných parametrů. Plocha ani míra kruhovitosti CPV není významně ovlivněna úrovní sluneční aktivity. Nicméně z výsledků K-S testů lze vyčíst, že mírou sluneční aktivity je více, i když ne statisticky významně, ovlivněna plocha CPV, než je tomu tak u jeho kruhovitosti. Ovšem jedná se o rozdíl téměř zanedbatelný.

Pokud se blíže zaměříme na výsledky K-S testů, je dobře patrné, že největší míru ovlivnění vykazuje kruhovitosť CPV při rozdělení datového souboru na kvartily určené dle hodnoty Wolfova čísla. Je zajímavé, že v případě plochy CPV jsou výsledné hodnoty K-S testu víceméně shodné pro všechna členění.

Výsledky dvou-výběrových t-testů v obou případech rovněž nevedou k zamítnutí nulové hypotézy, nicméně zde již můžeme pozorovat o něco výraznější rozdíly ve výsledných hodnotách testů. Znatelnějších výsledků bylo dosaženo v případě porovnávání, zda míra kruhovitosti závisí na úrovni sluneční aktivity. Testové statistiky se v případě kruhovitosti pohybovaly v rozmezí 0,42-0,98, kdy největší hodnoty bylo dosaženo u rozdělení na třetiny dle solárního toku  $F_{10,7}$ . Je tedy patrné, že se v závislosti na intenzitě sluneční aktivity mění spíše průměrná míra kruhovitosti CPV než jeho plocha. Ovšem je nutno ještě jednou zdůraznit, že v případě testování všech charakteristik CPV během celého sledovaného období nebylo dosaženo statisticky významných výsledků

### 6.2 Diskuze výsledků pro zimní měsíce 1959-2001

Výraznějších výsledků jsme dosáhli v případě, kdy se charakteristiky CPV zkoumaly pouze pro zimní období, tj. měsíce prosinec, leden a únor. Ovšem ani s tímto datovým souborem se nepodařilo prokázat žádné statisticky významné výsledky a nulovou hypotézu nebylo v žádném provedeném testu možno zamítnout. I v případě zimních měsíců je z výsledků K-S testů dobře patrné, že více je úrovní sluneční aktivity ovlivněna míra kruhovitosti CPV.



Pojďme se nejdříve detailněji podívat na výsledky K-S testů. Při bližším pohledu na výsledky zkoumání plochy CPV vyplývá, že statisticky nejvýznamnějších výsledku bylo dosaženo při členění na kvartily dle hodnot Wolfova čísla. V případě míry kruhovitosti bylo nejvýraznějšího výsledku dosaženo taktéž v členění na kvartily dle Wolfova čísla, zde se jednalo o ještě výraznější rozdíl než v případě pro plochu CPV.

Jak již bylo řečeno výše, výsledky t-testů pro zimní měsíce neprokázaly rozdíl mezi průměrnou plochou, respektive kruhovitostí CPV během období s vysokou a nízkou sluneční aktivitou. V případě plochy CPV nabývaly výsledky t-testu přibližně stejných hodnot, s testovou statistikou v rozmezí 0,17 až 0,29. V případě testování průměrné míry kruhovitosti byly výsledné hodnoty testů o něco málo významnější, když nejvyšší hodnoty t-testu nabývalo členění na třetiny dle Wolfova čísla.

Z výsledků vyplývá, že nejvíce je vliv sluneční aktivity na charakteristiky CPV patrný pro členění na kvartily dle hodnoty Wolfova čísla. Z tohoto důvodu byla tato stratifikace využita při zpracování mapového výstupu, jenž vyobrazuje polohu středu CPV v závislosti na úrovni sluneční aktivity. Jsou zde zobrazeny hodnoty pro nízkou, střední a vysokou sluneční aktivitu. Z mapy je dobře patrné, že polohy středu CPV nejsou rovnoměrně rozmístěny okolo severního pólu, ale mají tendenci se posunovat více směrem k Čukotskému moři. Z grafického výstupu nelze vyvodit, zda má sluneční aktivita nějaký prokazatelný vliv na pozici středu CPV.

Pro konečné doplnění výsledků výzkumné části je ještě připojena tabulka vyobrazující průměrnou plochu CPV pro vysokou a nízkou sluneční aktivitu. Je zde zcela jasně patrné, že během slunečních maxim nabývá CPV menší plochy. Nicméně se nejedná o statisticky významné rozdíly, jež by byly prokázány na 95% hladině spolehlivosti. Z tabulky ve shodě s očekáváním vyplývá, že rozloha CPV je větší v zimním období.

## 7 Závěr

Již bylo zmíněno, že cirkumpolární vír severní polokoule slouží jako šířitel signálů ze stratosférického polárního víru, a tak může do oblasti troposféry přenášet změny, jež ve stratosféře vyvolává proměnlivost sluneční aktivity. Z rešeršní části práce vyplynulo, že tato troposférická cyklonální cirkulace by teoreticky sama měla být ovlivněna změnami úrovně sluneční aktivity. Takto byla formulována i hypotéza pro výzkumnou část práce.

Snažili jsme se prokázat, že empirické rozdělení plochy a míry kruhovitosti CPV se liší mezi nízkou a vysokou sluneční aktivitou. K tomuto účelu byl použit dvou-souborový Kolmogorovovův-Smirnovův test. Dvou-výběrový t-test byl proveden pro porovnání, zde se průměrná plocha a míra kruhovitosti liší mezi obdobím s nízkou a vysokou sluneční aktivitou. Výsledky výše zmíněných testů pro různá členění úrovně sluneční aktivity byly ve všech případech statisticky nevýznamné, a nulová hypotéza o shodě mezi nízkou a vysokou sluneční aktivitou tak nebyla zamítnuta. Nepodařilo se prokázat vliv sluneční aktivity na vlastnosti a charakteristiky CPV.

Z výsledků této práce lze tedy vyvodit, že CPV sice není sám ovlivněn proměnlivostí sluneční aktivity, ale je velmi významným a nepostradatelným článkem v řetězci, který vede dolů do troposféry signály ze stratosféry. CPV totiž pomáhá přenášet signály proměnlivé sluneční aktivity na ostatní troposférické cirkulační módy severní polokoule. Ty pak některými svými charakteristikami vykazují, že jsou proměnlivostí sluneční aktivity skutečně ovlivňovány (viz Bochníček a Hejda, 2005; Huth et al., 2006; Kodera, 2003).

## 8 Seznam grafů, map a tabulek

Graf 1: Měsíční hodnoty Wolfova čísla v letech 1749-2013.

Mapa 1: Poloha středu CPV během zimního období v letech 1959-2001. Úroveň sluneční aktivity je rozčleněna na kvatily dle hodnoty Wolfova čísla.

Tab. 1: Hodnoty Kolmogorovova-Smirnovova testu na 90% a 95% hladině spolehlivosti a t-testu na 95% hladině spolehlivosti. Počítáno pro plochu CPV během celého období (měsíce 1,2,4,7,10 a 12).

Tab. 2: Hodnoty Kolmogorovova-Smirnovova testu na 90% a 95% hladině spolehlivosti a t-testu na 95% hladině spolehlivosti. Počítáno pro kruhovitost CPV během celého období (měsíce 1,2,4,7,10 a 12).

Tab. 3: Hodnoty Kolmogorovova-Smirnovova testu na 90% a 95% hladině spolehlivosti a t-testu na 95% hladině spolehlivosti. Počítáno pro plochu CPV během zimního období (měsíce 1,2 a 12).

Tab. 4: Hodnoty Kolmogorovova-Smirnovova testu na 90% a 95% hladině spolehlivosti a t-testu na 95% hladině spolehlivosti. Počítáno pro kruhovitost CPV během zimního období (měsíce 1,2 a 12).

Tab. 5: Hodnoty průměrné plochy CPV (km<sup>2</sup>) během vysoké a nízké sluneční aktivity pro zimní měsíce a celé sledované období.

### 8.1 Seznam příloh

Příloha 1: Izohypsy definující cirkumpolární vír severní polokoule na hladině 500 hPa v jednotlivých měsících.

Příloha 2: Charakteristiky cirkumpolárního víru severní polokoule na hladině 500 hPa pro vybrané měsíce v období 1959 – 2001.

## 9 Použitá literatura a zdroje dat

### 9.1 Použitá literatura

ANGELL, J. K. Changes in the 300-mb North Circumpolar Vortex, 1963-2001. *Journal of Climate* [online]. 2006, vol. 19, no. 12, s. 2984-2994. [cit. 2013-3-22]. Dostupné z <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JCLI3778.1>>.

BALDWIN, M. P.; GRAY, L.; DUNKERTON, T. J.; HAMILTON, K.; HAYNES, P. H.; RANDEL, W. J.; HOLTON, J. R.; ALEXANDER, M. J.; HIROTA, I.; HORINOUCI, T.; JONES, D. B. A.; KINNERSLEY, J. S.; MARQUARDT, C.; SATO, K.; TAKAHASHI, M. The Quasi-Biennial Oscillation. *Reviews of Geophysics* [online]. 2011, vol. 39., no. 2., s. 179-229. [cit. 2013-4-6]. Dostupné z <<http://adrem.org.cn/Faculty/GongDY/class2008/QBO.pdf>>. ISSN 8755-1209.

BARNSTON, A. G.; LIVEZEY, R. E. Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns. *Monthly Weather Review* [online]. 1987, vol. 115, no. 6, s. 1083-1126. [cit. 2013-3-27]. Dostupné z <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0493%281987%29115%3C1083%3ACSA%3E2.0.CO%3B2>>.

BARRIOPEDRO, D.; GARCÍA-HERRERA, R.; HUTH, R. Solar modulation of Northern Hemisphere winter blocking. *Journal of Geophysical Research* [online]. 2008, vol. 113, D14118. [cit. 2013-3-8]. Dostupné z <<http://researchgate.net>>. ISSN 0148-0227.

BENESTAD, Rasmus E. *Solar Activity and Earth's Climate*. 2nd printing, 2003. Springer Verlag, New York, c2002. 287 s. ISBN 3-54043-302-3

BOCHNÍČEK, J.; HEJDA, P. The winter NAO pattern changes in association with solar and geomagnetic activity. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* [online]. 2005, vol. 67., no. 1, s. 17-32. [cit. 2013-3-27]. Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364682604001750>>. ISSN 1364-6826.

COUGHLIN, K.; TUNG, K. K. Eleven-year solar cycle signal throughout the lower atmosphere. *Journal of Geophysical Research* [online]. November 2004, vol. 109, D21105. [cit. 2013-3-25]. Dostupné z <<http://depts.washington.edu/amath/research/articles/Tung/journals/coughlin-tung04solar.pdf>>. ISSN 0148-0227.

FRAUENFELD, O. W.; DAVIS, R. E. Northern Hemisphere circumpolar vortex trends and climate change implications. *Journal of Geophysical Research*, 2003, vol. 108, D144423.

GLEISNER, H.; THEJLL, P. Patterns of tropospheric response to solar variability. *Geophysical Research Letters* [online]. 2003, vol. 30, no. 13, s. 44.1-44.4. [cit. 2013-3-25]. Dostupné z <<http://web.dmi.dk/fsweb/solar-terrestrial/staff/thejll/GleisnerThejll2003GL017129.pdf>>. ISSN 0094-8276.

GRAY, L. J.; BEER, J.; GELLER, M.; HAIGH, J. D.; LOCKWOOD, M.; MATTHES, K.; CUBASCH, U.; FLEITMANN, D.; HARRISON, G.; HOOD, L.; LUTERBACH, J.; MEEHL, G. A.; SHINDELL, D.; VAN GEEL, B.; WHITE, W. Solar influences on climate. *Reviews of Geophysics* [online]. 2010, vol. 48, RG4001. [cit. 2013-3-12]. Dostupné z <<http://oceanrep.geomar.de/14952/1/2009RG000282.pdf>>. ISSN 8755-1209.

HUTH, R.; KYSELÝ, J.; BOCHNÍČEK, J.; HEJDA, P. Solar activity affects the occurrence of synoptic types over Europe. *Annales Geophysicae* [online]. 2008, vol. 26, no. 7, s. 1999-2004. [cit. 2013-3-17]. Dostupné z <<http://www.ann-geophys.net/26/1999/2008/angeo-26-1999-2008.pdf>>.

HUTH, R.; POKORNÁ, L.; BOCHNÍČEK, J.; HEJDA, P. Solar cycle effects on modes of low-frequency circulation variability. *Journal of Geophysical Research*, November 2006, vol. 111, D22107.

KODERA, K. Solar influence in the spatial structure of the NAO during the winter 1900-1999. *Geophysical Research Letters*, 2003, vol. 30, no. 1175.

LEAN, J.; RIND, D. Earth's response to a variable Sun. *Science* [online], 2001, vol. 292, no. 5515, s. 234-236. [cit. 2013-4-2]. Dostupné z <<http://ehis.ebscohost.com/eds/detail?sid=f59d7dc4-04d2-44b4-ad24-a7d8f11d0a35%40sessionmgr115&vid=1&hid=110&bdata=Jmxhbm9Y3Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#db=mdc&AN=11305317>>.

MATTHES, K.; KURODA, Y.; KODERA, K.; LANGEMATZ, U. Transfer of the solar signal from the stratosphere to the troposphere: Northern winter. *Journal of Geophysical Research* [online]. 2006, vol. 111, D06108. [cit. 2013-3-27]. Dostupné z <<http://oceanrep.geomar.de/14958/1/2005JD006283.pdf>>. ISSN 0148-0227.

PALLÉ, E.; BUTLER, C. J. The proposed connection between clouds and cosmic rays: cloud behaviour during the past 50–120 years. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* [online]. 2002, vol. 64, no. 3, s. 327-337. [cit. 2013-5-5]. Dostupné z <[http://rialto.ll.iac.es/galeria/epalle/reprints/Palle\\_JASTP\\_2002.pdf](http://rialto.ll.iac.es/galeria/epalle/reprints/Palle_JASTP_2002.pdf)>. ISSN 1364-6826.

ROHLI, R. V.; WRONA, K. M.; MCHUGH, M. J. January northern hemisphere circumpolar vortex variability and its relationship with hemispheric temperature and regional teleconnections. *International Journal of Climatology* [online]. 2005, vol. 25, no. 11, s. 1421-1436. [cit. 2013-3-20]. Dostupné z <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1204/pdf>>.

RUZMAIKIN, A.; FEYNMAN, J. Solar influence on a major mode of atmospheric variability. *Journal of Geophysical Research* [online]. 2002, vol. 107, D144209. [cit. 2013-3-27]. Dostupné z <[http://yly-mac.gps.caltech.edu/reprints/yly/A\\_LWSpapers/Ruzmaikin\\_Solar\\_02.pdf](http://yly-mac.gps.caltech.edu/reprints/yly/A_LWSpapers/Ruzmaikin_Solar_02.pdf)>. ISSN 0148-0227.

SHINDELL, D.; RIND, D.; BALACHANDRAN, N.; LEAN, J.; LONERGAN, P. Solar Cycle Variability, Ozone and Climate. *Science* [online]. 1999, vol. 284., no. 5412, s. 305-308. [cit. 2013-4-23]. Dostupné z <<http://individual.utoronto.ca/ekwan/ozone.pdf>>.

SVENSMARK, H. Cosmic rays and Earth's climate. *Space Science Review* [online]. 2000, vol. 93, no. 1-2, s. 175-185. [cit. 2013-4-4]. Dostupné z <[http://www.deas.harvard.edu/climate/eli/Courses/global-change-debates/Sources/03-Cosmic-rays/more/even-more/Svensmark\\_SSR2000.pdf](http://www.deas.harvard.edu/climate/eli/Courses/global-change-debates/Sources/03-Cosmic-rays/more/even-more/Svensmark_SSR2000.pdf)>.

TINSLEY, B. A. Influence of solar wind on the global electric circuit, and inferred effects on cloud microphysics, temperature, and dynamics in the troposphere. *Space Science Reviews* [online]. 2000, vol. 94, no. 1-2, s. 231-258. [cit. 2013-4-6]. Dostupné z <[http://www.utdallas.edu/nsm/physics/pdf/Tin\\_rev.pdf](http://www.utdallas.edu/nsm/physics/pdf/Tin_rev.pdf)>.

THOMPSON, D. W. J.; WALLACE, J. M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters* [online]. 1998, vol. 25, no. 9, s. 1297-1300. [cit. 2013-4-6]. Dostupné z <<http://ent.arp.harvard.edu/sci/climate/journalclub/Thompson.pdf>>. ISSN 0094-8534.

VAN LOON, H.; MEEHL, G. A.; ARBLASTER, J. M. A decadal solar effect in the tropics in July-August. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2004, vol. 66, no. 18, s. 1767-1778.

VAN LOON, H.; SHEA, D. J. A probable signal of the 11-year cycle in the troposphere of the northern hemisphere. *Geophysical Research Letters*, 1999, vol. 26, no. 18., s. 1893-2896.

WALLACE, J. M. North Atlantic Oscillation/Annular Mode: Two Paradigms – One Phenomenon. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* [online]. 2000, vol. 126, no. 564, s. 791-805. [cit. 2013-4-10]. Dostupné z <<http://jisao.washington.edu/wallace/symons/Symons.pdf>>.

WALLACE, J. M.; GUTZLER, D. S. Téléconnexions in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review* [online]. 1981, vol. 109, no. 2, s. 784-812. [cit. 2013-5-5]. Dostupné z <[http://www.ices.ucsb.edu/gem/wallace\\_gutzler\\_teleconnections.geopotential.pdf](http://www.ices.ucsb.edu/gem/wallace_gutzler_teleconnections.geopotential.pdf)>. ISSN 0027-0644.

WHITE, W. B.; LEAN, J.; CAYAN, D. R.; DETTINGER, M. D. Response of global upper ocean temperature to changing solar irradiance. *Journal of Geophysical Research* [online]. 1997, vol. 102, no. C2, s. 3255-3266. [cit. 2013-4-2]. Dostupné z <<http://www.climatemonitor.it/wp-content/uploads/2012/01/white-1997.pdf>>. ISSN 0148-0027.

WRONA, K. M.; ROHLI, R. V. Seasonality of the northern hemisphere circumpolar vortex. *International Journal of Climatology* [online]. 2007, vol. 27, no. 6, s. 697-713. [cit. 2013-3-16]. Dostupné z <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1430/pdf>>.

*Circumpolar vortex* [online]., poslední revize 5. 5. 2013 [cit. 2013-4-11]. <<http://oxfordindex.oup.com/view/10.1093/oi/authority.20110803095613323?rskey=hX8o1T&result=1&q=circumpolar%20vortex>>.

*Global Patterns – Pacific/North American (PNA)* [online]., poslední revize 1. 5. 2013 [cit. 2013-3-29]. <<http://www.nc-climate.ncsu.edu/climate/patterns/PNA.html>>.

## 9.2 Použité zdroje dat

*SIDC – Solar Influences Data Analysis Center* [online]., poslední revize 28. 3. 2013 [cit. 2013-3-10]. <<http://sidc.oma.be/sunspot-data/>>.

Solar radio flux – Solar Monitoring Program [online]., poslední revize 22. 11. 2011 [cit. 2013-3-9]. <[http://www.spaceweather.ca/data-donnee/sol\\_flux/sx-eng.php](http://www.spaceweather.ca/data-donnee/sol_flux/sx-eng.php)>.

TAGA – Map Catalog [online]., [cit. 2013-3-10]. <[data.arcticatlas.org/geodata/cp/cp\\_landscap\\_la\\_shp.zip](http://data.arcticatlas.org/geodata/cp/cp_landscap_la_shp.zip)>

WRONA, K. M.; ROHLI, R. V. Seasonality of the northern hemisphere circumpolar vortex. *International Journal of Climatology* [online]. 2007, vol. 27, no. 6, s. 697-713. [cit. 2013-3-16]. Dostupné z <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1430/pdf>>.



## 10 Přílohy

Příloha 1: Izohypsy definující cirkumpolární vír severní polokoule na hladině 500 hPa v jednotlivých měsících

měsíc	izohypsa (m)
leden	5460
únor	5460
březen	5520
duben	5580
květen	5640
červen	5700
červenec	5700
srpen	5760
září	5640
říjen	5580
listopad	5520
prosinec	5460

Příloha 2: Charakteristiky cirkumpolárního víru severní polokoule na hladině 500 hPa pro vybrané měsíce v období 1959 – 2001 (převzato z Wrona a Rohli, 2007).

Rok	Měsíc	Plocha (km <sup>2</sup> )	Kruhovitost	Poloha středu	
				zeměpisná šířka	zeměpisná délka
1959	1	75 623 600	0.719	88.26° S	146.35° V
1959	2	72 112 573	0.656	88.36° S	17.27° Z
1959	4	77 128 959	0.761	88.43° S	146.65° V
1959	7	52 871 337	0.659	85.78° S	173.34° Z
1959	10	64 317 734	0.704	84.08° S	161.68° Z
1959	12	69 562 915	0.762	86.61° S	175.65° Z
1960	1	77 123 767	0.727	85.82° S	172.43° Z
1960	2	78 827 027	0.721	85.46° S	161.47° Z
1960	4	77 240 346	0.705	88.19° S	76.26° V
1960	7	57 107 975	0.581	87.32° S	77.24° Z
1960	10	60 034 179	0.679	88.17° S	100.97° Z
1960	12	68 157 329	0.681	85.82° S	172.12° V
1961	1	77 074 883	0.682	83.71° S	161.98° Z
1961	2	74 702 337	0.73	82.77° S	178.85° Z
1961	4	78 872 066	0.726	86.2° S	108.66° Z
1961	7	57 260 384	0.747	89.15° S	14.94° Z
1961	10	63 076 750	0.764	87.18° S	172.98° V
1961	12	74 734 356	0.73	85.51° S	174.34° Z
1962	1	73 837 993	0.674	82.82° S	175.23° V
1962	2	72 087 265	0.582	86.61° S	170.49° V
1962	4	72 782 242	0.674	88.56° S	144.37° Z
1962	7	58 480 314	0.66	87.18° S	74.27° Z

Rok	Měsíc	Plocha (km <sup>2</sup> )	Kruhovitost	Poloha středu	
				zeměpisná šířka	zeměpisná délka
1962	10	62 444 963	0.729	83.1° S	163.26° Z
1962	12	71 445 550	0.695	88.17° S	166.89° Z
1963	1	73 337 411	0.497	85.44° S	144.33° V
1963	2	81 773 343	0.632	87.46° S	166.13° V
1963	4	82 108 961	0.703	85.69° S	36.75° Z
1963	7	54 292 839	0.688	88.67° S	121.74° Z
1963	10	64 317 734	0.769	83.58° S	178.15° V
1963	12	72 412 540	0.63	83.35° S	151.87° Z
1964	1	74 773 273	0.676	86.96° S	168.67° Z
1964	2	78 844 182	0.647	87.9° S	119.71° Z
1964	4	76 500 953	0.752	87.65° S	66.97° Z
1964	7	57 871 529	0.713	87.01° S	160.23° Z
1964	10	60 034 179	0.676	86.84° S	157.36° Z
1964	12	67 431 248	0.702	85.33° S	168.59° V
1965	1	76 518 890	0.727	84.64° S	173.50° Z
1965	2	73 662 188	0.569	87.18° S	43.46° V
1965	4	82 423 407	0.687	86.89° S	6.58° Z
1965	7	-	-	-	-
1965	10	63 076 750	0.703	84.97° S	137.80° Z
1965	12	70 377 078	0.726	88° S	84.61° V
1966	1	80 632 832	0.693	88.99° S	177.74° V
1966	2	76 956 767	0.747	87.5° S	175.59° Z
1966	4	80 141 332	0.729	86.43° S	139.67° Z
1966	7	56 221 044	0.686	88.96° S	98.77° Z
1966	10	62 444 963	0.705	86.62° S	136.53° Z
1966	12	69 217 057	0.583	87.37° S	143.31° V
1967	1	68 964 649	0.645	85.24° S	113.03° V
1967	2	78 386 276	0.703	87.28° S	157.12° Z
1967	4	75 209 866	0.572	86.18° S	27.46° Z
1967	7	55 887 283	0.709	87.88° S	140.78° Z
1967	10	64 317 734	0.448	85.76° S	103.85° V
1967	12	68 986 174	0.645	85.24° S	113.03° V
1968	1	78 482 548	0.662	86.49° S	74.08° V
1968	2	82 066 119	0.627	80.98° S	163.85° Z
1968	4	76 000 044	0.762	88.24° S	161.57° Z
1968	7	-	-	-	-
1968	10	60 034 179	0.666	85.3° S	170.44° Z
1968	12	73 903 673	0.732	88.59° S	7.70° Z
1969	1	77 412 254	0.706	86.85° S	159.39° V
1969	2	79 865 431	0.658	89.02° S	5.95° Z
1969	4	77 039 991	0.708	88.57° S	33.00° V
1969	7	52 683 542	0.669	85.71° S	125.46° Z
1969	10	63 076 750	0.655	83.15° S	171.17° Z
1969	12	71 372 295	0.613	88.98° S	172.44° V
1970	1	69 984 429	0.698	87.04° S	172.58° Z
1970	2	76 306 818	0.667	86.82° S	175.05° Z
1970	4	78 853 522	0.732	87.72° S	68.31° Z
1970	7	52 334 440	0.676	87.54° S	117.38° Z
1970	10	62 444 963	0.783	88.1° S	135.29° V
1970	12	69 936 248	0.7	87.04° S	172.61° Z

Rok	Měsíc	Plocha (km <sup>2</sup> )	Kruhovitost	Poloha středu	
				zeměpisná šířka	zeměpisná délka
1971	1	76 880 266	0.722	84.74° S	159.71° Z
1971	2	79 139 617	0.697	87.05° S	164.57° V
1971	4	80 919 442	0.66	87.15° S	69.16° Z
1971	7	55 411 939	0.696	86.15° S	151.08° Z
1971	10	60 912 725	0.75	87.01° S	148.80° V
1971	12	69 073 317	0.681	87.08° S	145.65° V
1972	1	74 288 295	0.598	87.13° S	154.69° Z
1972	2	77 950 337	0.698	86.48° S	170.96° Z
1972	4	75 912 458	0.697	86.18° S	2.44° Z
1972	7	54 656 450	0.651	86.26° S	161.99° Z
1972	10	60 663 374	0.726	84.79° S	176.28° Z
1972	12	69 026 327	0.718	82.21° S	172.81° Z
1973	1	75 045 561	0.701	83.49° S	172.78° Z
1973	2	75 488 199	0.71	88.88° S	178.51° V
1973	4	77 795 721	0.609	89.09° S	9.31° Z
1973	7	60 102 949	0.698	88.5° S	177.18° Z
1973	10	63 784 745	0.756	88.2° S	174.76° V
1973	12	69 429 654	0.704	84.72° S	157.30° V
1974	1	79 411 636	0.667	84.63° S	174.80° V
1974	2	76 322 755	0.713	86.34° S	164.89° Z
1974	4	84 095 873	0.719	87.72° S	59.58° V
1974	7	55 440 765	0.574	86.94° S	81.50° Z
1974	10	63 657 215	0.662	89.11° S	43.06° V
1974	12	67 959 116	0.691	86.46° S	179.82° Z
1975	1	73 761 898	0.752	85.53° S	165.08° V
1975	2	77 203 349	0.669	87.65° S	148.96° V
1975	4	77 527 304	0.674	87.18° S	64.97° Z
1975	7	56 103 236	0.743	85.92° S	161.10° Z
1975	10	64 370 243	0.749	85.8° S	174.14° Z
1975	12	67 377 226	0.719	85.5° S	177.60° V
1976	1	75 917 091	0.677	87.62° S	172.81° V
1976	2	73 768 865	0.708	88.51° S	157.26° Z
1976	4	78 438 596	0.635	87.73° S	35.86° V
1976	7	60 885 814	0.733	88.41° S	121.89° Z
1976	10	69 363 040	0.711	87.31° S	140.93° Z
1976	12	74 119 133	0.681	86.6° S	163.17° Z
1977	1	82 515 903	0.641	81.47° S	157.43° Z
1977	2	79 806 448	0.694	83.64° S	164.40° Z
1977	4	74 070 829	0.711	89.65° S	47.83° V
1977	7	55 498 361	0.732	87.18° S	70.21° Z
1977	10	64 296 529	0.746	85.27° S	150.60° Z
1977	12	73 081 752	0.715	84.18° S	144.91° Z
1978	1	79 382 956	0.69	83.71° S	169.17° Z
1978	2	84 783 324	0.715	85.36° S	150.63° Z
1978	4	86 947 868	0.731	88.13° S	16.14° Z
1978	7	58 009 453	0.755	89.31° S	179.62° Z
1978	10	62 414 038	0.751	84.46° S	160.03° Z
1978	12	74 075 809	0.756	89.53° S	115.58° Z
1979	1	75 180 997	0.697	88.09° S	161.40° Z
1979	2	77 333 420	0.73	88.96° S	37.79° Z

Rok	Měsíc	Plocha (km <sup>2</sup> )	Kruhovitost	Poloha středu	
				zeměpisná šířka	zeměpisná délka
1979	4	80 876 363	0.7	86.77° S	18.14° V
1979	7	53 540 980	0.671	88.06° S	37.60° Z
1979	10	65 054 501	0.693	84.58° S	140.49° Z
1979	12	68 768 896	0.752	85.17° S	162.73° Z
1980	1	81 158 585	0.702	88.35° S	178.32° V
1980	2	78 080 635	0.678	78.72° S	159.95° Z
1980	4	76 825 612	0.63	88.12° S	48.05° V
1980	7	54 807 189	0.753	85.93° S	38.36° Z
1980	10	65 070 187	0.712	85.35° S	153.98° Z
1980	12	71 357 131	0.683	82.3° S	174.85° V
1981	1	75 299 534	0.556	87.46° S	144.51° Z
1981	2	70 560 081	0.648	83.28° S	155.52° V
1981	4	73 233 764	0.688	89.63° S	146.01° Z
1981	7	51 243 026	0.726	87.95° S	95.32° Z
1981	10	62 662 686	0.742	86.75° S	123.62° V
1981	12	73 110 303	0.721	88.86° S	128.89° Z
1982	1	76 428 467	0.711	84.91° S	169.28° Z
1982	2	74 802 644	0.641	85.06° S	176.74° Z
1982	4	74 607 170	0.68	86.52° S	12.06° Z
1982	7	53 048 268	0.685	83.75° S	163.13° Z
1982	10	61 824 232	0.752	87.22° S	178.71° Z
1982	12	68 633 667	0.746	81.65° S	168.60° V
1983	1	75 969 795	0.695	82.92° S	169.92° Z
1983	2	78 044 373	0.643	83.54° S	172.69° V
1983	4	86 030 212	0.568	89.36° S	129.15° V
1983	7	56 135 213	0.664	88.74° S	156.89° Z
1983	10	62 220 257	0.771	86.08° S	170.81° V
1983	12	71 813 365	0.729	82.06° S	173.56° Z
1984	1	75 465 744	0.682	83.3° S	175.23° V
1984	2	70 317 028	0.577	84.39° S	164.44° V
1984	4	82 278 132	0.698	88.24° S	32.35° Z
1984	7	55 174 495	0.702	89.76° S	37.46° Z
1984	10	64 943 605	0.768	83.34° S	174.59° V
1984	12	65 876 543	0.719	81.71° S	173.21° V
1985	1	81 440 353	0.624	88.76° S	157.70° Z
1985	2	78 899 209	0.665	87.57° S	84.84° V
1985	4	77 017 290	0.77	88.95° S	135.03° V
1985	7	58 720 327	0.764	87.18° S	95.84° Z
1985	10	63 015 951	0.75	87.28° S	170.72° Z
1985	12	72 601 524	0.658	81.96° S	167.20° Z
1986	1	77 615 200	0.689	85.53° S	169.05° V
1986	2	85 438 045	0.708	84.37° S	173.11° V
1986	4	75 175 016	0.682	87.35° S	14.72° V
1986	7	53 953 591	0.707	84.43° S	87.69° Z
1986	10	63 707 712	0.73	82.84° S	169.79° Z
1986	12	71 646 760	0.727	83.95° S	169.44° Z
1987	1	75 366 327	0.611	86.52° S	174.96° Z
1987	2	75 588 356	0.71	82.91° S	154.79° Z
1987	4	76 046 816	0.71	88.79° S	146.77° Z
1987	7	58 895 003	0.737	85.32° S	170.23° Z

Rok	Měsíc	Plocha (km <sup>2</sup> )	Kruhovitost	Poloha středu	
				zeměpisná šířka	zeměpisná délka
1987	10	60 176 149	0.65	86.94° S	134.79° Z
1987	12	69 790 351	0.703	86.57° S	162.40° Z
1988	1	77 296 858	0.737	83.11° S	177.09° Z
1988	2	74 076 387	0.671	84.7° S	170.01° Z
1988	4	79 896 897	0.728	88.02° S	138.47° Z
1988	7	51 541 200	0.635	88.33° S	169.86° V
1988	10	62 959 424	0.707	83.97° S	140.75° Z
1988	12	68 949 937	0.686	86.14° S	173.74° Z
1989	1	71 481 962	0.707	86.72° S	170.10° Z
1989	2	67 583 460	0.649	85.77° S	169.00° Z
1989	4	78 588 232	0.702	88.5° S	78.68° Z
1989	7	47 131 223	0.658	86.25° S	120.54° Z
1989	10	60 909 837	0.763	87.64° S	164.25° V
1989	12	73 705 829	0.658	83.26° S	147.17° Z
1990	1	75 032 815	0.743	85.06° S	165.08° V
1990	2	69 407 770	0.786	86.89° S	157.48° Z
1990	4	78 601 275	0.73	87.04° S	152.97° V
1990	7	55 043 898	0.737	86.84° S	115.08° Z
1990	10	61 546 759	0.784	86.94° S	138.78° Z
1990	12	63 813 678	0.725	85.28° S	169.46° V
1991	1	73 721 526	0.634	85.3° S	173.41° Z
1991	2	77 289 115	0.699	83.44° S	179.69° Z
1991	4	75 767 551	0.691	87.9° S	46.08° V
1991	7	60 011 794	0.697	86.44° S	168.26° Z
1991	10	59 345 221	0.736	83.78° S	178.54° V
1991	12	68 343 845	0.715	87.32° S	167.74° Z
1992	1	74 491 029	0.641	83.99° S	164.71° Z
1992	2	77 873 285	0.648	88.55° S	131.69° V
1992	4	83 914 636	0.742	87.31° S	162.80° Z
1992	7	61 268 394	0.763	85.32° S	125.70° Z
1992	10	65 734 261	0.725	86.72° S	96.67° Z
1992	12	67 290 462	0.742	84.23° S	171.59° Z
1993	1	75 957 635	0.733	84.99° S	169.97° V
1993	2	73 183 140	0.639	85.14° S	170.78° Z
1993	4	85 979 959	0.746	87.45° S	171.46° V
1993	7	57 210 983	0.58	83.79° S	90.44° Z
1993	10	63 102 143	0.697	86.43° S	153.70° Z
1993	12	70 791 641	0.731	85.64° S	173.28° Z
1994	1	74 832 343	0.699	84.4° S	173.27° Z
1994	2	80 310 607	0.738	86.24° S	177.26° Z
1994	4	79 105 662	0.723	89.32° S	17.94° V
1994	7	54 909 567	0.658	87.21° S	114.27° Z
1994	10	61 007 226	0.769	84.88° S	171.13° Z
1994	12	70 607 969	0.757	84.42° S	167.86° V
1995	1	76 922 034	0.687	84.65° S	174.18° V
1995	2	76 234 259	0.701	82.04° S	159.80° Z
1995	4	78 981 937	0.662	89.45° S	46.03° V
1995	7	56 982 902	0.764	84.85° S	157.71° Z
1995	10	62 908 649	0.748	83.22° S	154.91° Z
1995	12	74 230 878	0.678	82.02° S	159.96° Z

Rok	Měsíc	Plocha (km <sup>2</sup> )	Kruhovitost	Poloha středu	
				zeměpisná šířka	zeměpisná délka
1996	1	74 716 671	0.66	84.66° S	179.11° Z
1996	2	75 904 049	0.698	89.73° S	138.35° Z
1996	4	85 867 240	0.712	87.74° S	139.54° V
1996	7	49 616 059	0.719	83.03° S	66.93° Z
1996	10	63 951 354	0.781	84.46° S	178.62° V
1996	12	69 286 257	0.717	85.74° S	173.74° V
1997	1	77 523 760	0.662	81.38° S	169.35° Z
1997	2	75 703 521	0.717	84.15° S	178.24° V
1997	4	82 829 854	0.62	88.48° S	63.74° Z
1997	7	56 821 915	0.674	86.72° S	77.73° Z
1997	10	64 317 734	0.707	86.41° S	159.07° V
1997	12	71 597 974	0.755	84.94° S	152.37° Z
1998	1	80 399 125	0.741	81.44° S	174.01° V
1998	2	73 324 353	0.712	83.3° S	177.92° Z
1998	4	77 090 659	0.767	86.92° S	64.31° Z
1998	7	46 016 599	0.648	83.03° S	82.12° Z
1998	10	60 034 179	0.774	88.33° S	153.84° Z
1998	12	68 730 098	0.75	84.9° S	172.95° Z
1999	1	73 717 729	0.746	83.13° S	179.21° Z
1999	2	73 371 872	0.69	87.76° S	108.83° V
1999	4	76 590 086	0.717	88.3° S	86.62° Z
1999	7	47 687 280	0.735	82.97° S	98.59° Z
1999	10	63 076 750	0.775	85.07° S	171.57° Z
1999	12	68 581 964	0.728	86.25° S	166.49° V
2000	1	72 609 091	0.696	86.66° S	29.56° V
2000	2	76 522 425	0.739	83.96° S	172.53° V
2000	4	76 667 944	0.712	88.48° S	101.76° V
2000	7	50 978 806	0.603	86.8° S	23.88° Z
2000	10	62 444 963	0.731	86.21° S	166.34° V
2000	12	74 699 642	0.731	83.01° S	168.93° Z
2001	1	76 811 711	0.718	82.82° S	178.89° Z
2001	2	73 681 331	0.724	86.29° S	175.28° V
2001	4	75 238 504	0.704	88.25° S	9.54° V
2001	7	50 108 565	0.561	86.19° S	77.29° Z
2001	10	63 732 099	0.746	86.63° S	141.39° Z
2001	12	69 661 073	0.679	87.64° S	130.35° V